

# ANAIIS

# I SIMPÓSIO DE MEIO AMBIENTE E ENERGIA



**I SiMAE**

SIMPÓSIO DE MEIO AMBIENTE E ENERGIA

25, 26 E 27 DE NOVEMBRO

**1ª EDIÇÃO**

**FORTALEZA/CE**



**Bruno Peixoto de Oliveira**  
**Daniela Ribeiro Alves**  
**Maria Roniele Felix Oliveira**  
**Rachel Menezes Castelo**  
**Rafael Pereira**  
**Raquel Oliveira dos Santos Fontenelle**  
**Silvio Gentil Jacinto Júnior**  
**Viviane da Silva Barros**  
Organizadores

**ANAIS DO I SIMPÓSIO DE MEIO AMBIENTE E ENERGIA**  
**I SIMAE**

**FORTALEZA-CE**  
**2020**



Oliveira BP; Alves DR; Oliveira MRF; Castelo RM; Pereira R; Fontenelle ROS; Jacinto Júnior SG; Barros VS (orgs.).

Anais do I Simpósio de Meio Ambiente e Energia - Simae. Organizadores: Bruno Peixoto de Oliveira; Daniela Ribeiro Alves; Maria Roniele Felix Oliveira; Rachel Menezes Castelo; Rafael Pereira; Raquel Oliveira dos Santos Fontenelle; Silvio Gentil Jacinto Júnior; Viviane da Silva Barros. Editor Jonas Rodrigo Gonçalves. Unaí-MG: Editora Coleta, 2021.

Evento ocorrido em Fortaleza (CE) de 25 a 27 de novembro de 2020.

1ª edição.

750 fls.

ISBN: 978-65-994595-0-4

I. Meio Ambiente. II. Energia. III. Recursos Naturais. 1. Título.

CDU: 333.7

---

## **EDITORA COLETA CIENTÍFICA**

### **EDITOR-CHEFE DA EDITORA COLETA CIENTÍFICA**

Prof. MSc. Jonas Rodrigo Gonçalves, Universidade Católica de Brasília, DF, Brasil

### **EDITORES DESTA OBRA**

Prof. MSc. Jonas Rodrigo Gonçalves, Universidade Católica de Brasília, DF, Brasil

Prof. MSc. Danilo da Costa, Universidade Católica de Brasília, DF, Brasil

### **CONSELHO EDITORIAL**

Prof. Dr. Arthur Henrique de Pontes Regis, Faculdade Processus, DF, Brasil.

Prof. Dr. Alessandro Aveni, Universidade de Brasília, UnB, DF, Brasil

Prof<sup>a</sup>. Dra. Cristilene Akiko Kimura, Faculdade Sena Aires, FACESA, GO, Brasil.

Prof<sup>a</sup>. MSc. Maria Aparecida de Assunção, Faculdade Processus, DF, Brasil

Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Inez Montagner, Universidade de Brasília, UnB, DF, Brasil

Prof.MSc. José Osvaldo Silveira dos Santos, Universidade Católica de Brasília, UCB/DF, Brasil.

Prof<sup>a</sup>. MSc. Carla Chiste Tomazoli Santos, Faculdade Sena Aires, FACESA, GO, Brasil.

Prof<sup>a</sup>. MSc. Caroline Pereira da Costa, Universidade de São Paulo, USP, Brasil.

Prof. MSc. Flavio Pereira de Sousa, Universidade Católica de Brasília, DF, Brasil

Prof<sup>a</sup>. Dra. Julia Jensen Didonet, Universidade de Brasília, UnB, DF, Brasil

### **CORPO DE PARECERISTAS**

Como foi realizado o processo de revisão às cegas por pares, não serão divulgados os nomes dos pareceristas *ad hoc*.

## INFORMAÇÕES EDITORIAIS DESTA OBRA

---

**Tipo de Produção:** Bibliográfica

**Subtipo de Produção:** Livro

**Tiragem:** Livro digital com tiragem de 100 unidades para arquivo

**Reedição:** Não

**Reimpressão:** Não

**Meio de Divulgação:** Obra Digital / Eletrônica

**URL:** <http://portalcoleta.com.br/index.php/editora/article/view/1>

**Idioma:** Idioma Nacional

**Cidade / País:** Unaí-MG, Brasil

**Natureza da Obra:** Coletânea

**Natureza do Conteúdo:** Resultado de Projeto de Pesquisa

**Tipo da Contribuição na obra:** Obra Completa

**Tipo de Editora:** Editora Brasileira Comercial

**Nome da Editora:** Editora Coleta Científica

**Cidade da Editora:** Unaí-MG

**Financiamento:** Própria Editora

**Conselho Editorial:** Membros Nacionais

**Distribuição e Acesso:** Acesso Universal Livre

**Informações Sobre Autores:** Sim

**Parecer e Revisão por Pares:** Sim

**Índice Remissivo:** Não

**Premiação:** Não se aplica

**Tradução da obra para outros idiomas:** Não

**Natureza do texto:** Coletâneas organizadas resultantes de pesquisas afins e grupos de pesquisas em rede

**Leitor preferencial:** Obras acadêmicas destinadas a pesquisadores, docentes e especialistas da área e áreas afins

**Origem da obra:** Originada de outros grupos ou redes de pesquisa nacionais

---

**Reitora Pro Tempore**

Profa. Dra. Josete de Oliveira Castelo Branco Sales

**Chefe de Gabinete da Reitoria**

Prof. Dr. Jerffeson Teixeira de Souza

**Pró-Reitora de Pós-Graduação e Pesquisa**

Profa. Dra. Nukácia Meyre Silva Araújo

**Diretor do Centro de Ciências e Tecnologia**

Prof. Esp. Luciano Moura Cavalcante

**Diretor do Instituto de Química da USP**

Prof. Dr. Emanuel Carrilho

**Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais da UECE**

Profa. Dra. Sônia Maria Costa Siqueira

**Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Química da USP**

Prof. Dr. Roberto Gomes de Souza Berlinck

**Coordenação Geral**

Artur de Jesus Motheo (USP)

Carlucio Roberto Alves (UECE)

Flávia Oliveira Monteiro da Silva Abreu (UECE)

Mona Lisa Moura de Oliveira (UECE)

Raquel Oliveira dos Santos Fontenelle (UVA)

Sônia Maria Costa Siqueira (UECE)

Viviane da Silva Barros (EMBRAPA)

### **Coordenação Adjunta do Evento**

Adonay Rodrigues Loiola (UFC)  
André Luiz Herzog Cardoso (UECE)  
Antônia Fádía Valentim de Amorim (UECE)  
Cleide Maria da Silva Leite (UNILAB)  
Deborah dos Santos Garruti (EMBRAPA)  
Eliseu Marlônio da Silva de Lucena (UECE)  
Elma Neide Vasconcelos Martins Carrilho  
(UFSCar)  
Hélcio Silva dos Santos (UVA)  
Ícaro Gusmão Pinto Vieira (UECE)  
Jane Eire Silva Alencar de Meneses  
(UECE)  
Jefferson Marçal da Rocha (UNIPAMPA)  
José Galberto Martins da Costa (URCA)  
José Manoel Marconcini (EMBRAPA)  
Lidriana de Souza Pinheiro (UFC)  
Maria Cléa Brito de Figueirêdo (EMBRAPA)  
Mauro Coelho dos Santos (UFABC)  
Olmar Baller Weller (EMBRAPA)  
Oriel Herrera Bonilla (UECE)  
Rinaldo dos Santos Araújo (IFCE)  
Rivelino Martins Cavalcante (UFC)  
Ronaldo Ferreira do Nascimento (UFC)  
Roselayne Ferro Furtado (EMBRAPA)

### **Comissão Científica**

Atanu Biswas (USDA, Estados Unidos)  
Auro Atsushi Tanaka (UFMA)  
Emanuel Carrilho (USP)  
Jader Onofre de Moraes (UECE)  
Luiz Henrique Capparelli Mattoso (EMBRAPA)  
Morsyleide de Freitas Rosa (EMBRAPA)  
Pilar Herrasti Gonzales (UAM, Espanha)  
Renato Carrhá Leitão (EMBRAPA)  
Selene Maia de Moraes (UECE)  
Sérgio Antonio Spinola Machado (USP)

### **Secretaria Geral**

Bruno Peixoto de Oliveira  
Daniela Ribeiro Alves  
Gabriel de Oliveira Barros  
Rachel Menezes Castelo  
Silvio Gentil Jacinto Junior

### **Tesouraria**

Amanda Maria Barros Alves  
Ana Luiza Beserra  
Micaele Ferreira Lima

### **Capa**

Camila Maria Aguiar da Costa Alves

### **Membros discentes**

Ana Cristina Oliveira Melo  
Ana Lúcia Eufrazio Romão  
Ana Paula Coelho Sampaio  
Ariela de Macedo Ricardo  
Camila Maria Aguiar da Costa Alves  
Gabrielle Albuquerque Freire  
Jéssica Bezerra Maciel  
Jéssica Rocha de Lima  
Jesyka Macedo Guedes  
Joyce dos Reis Lima  
Leticia Mirella da Silva  
Marcos André Moura Dias  
Maria Kueirislene Amâncio Ferreira  
Nádia Aguiar Portela Pinheiro  
Rachel Menezes Castelo  
Renata de Araujo e Silva  
Samuel Alves Paz  
Stéphany Swellen Vasconcelos Maia

### **Equipe de Avaliação de Trabalhos**

Alexandre Magno Rodrigues Teixeira  
Ana Lúcia Eufrazio Romão  
Ana Paula C. Sampaio  
Ana Paula Mattos  
Antônia Fadia Valentim de Amorim  
Antonio Carlos Nogueira Sobrinho  
Bruno Peixoto de Oliveira  
Carolina Sidrim de Paula Cavalcante Targino  
Cleide Maria da Silva Leite  
Daniel Eugenio Saraiva Filho  
Daniela Ribeiro Alves

Eliseu Marlônio da Silva de Lucena  
Flávia Oliveira Monteiro da Silva Abreu  
Hélcio Silva dos Santos  
Ícaro Gusmão Pinto Vieira  
Jane Eire Silva Alencar de Meneses  
Jeferson Marçal da Rocha  
Jéssica Rocha de Lima  
Jesyka Macêdo Guedes  
Joana de Barros Alexandre  
Lutero Carmo de Lima  
Marcelo Soares  
Marcos Antônio Tavares Lira  
Maria Gleiciane Soares Coutinho  
Maria Kueirislene Amâncio Ferreira  
Mona Lisa Moura de Oliveira  
Murilo Sérgio da Silva Julião  
Oriel Herrera Bonilla  
Paulo Nogueira Bandeira  
Rachel Menezes Castelo  
Rafael Pereira  
Raimundo Rafael de Almeida  
Raquel Oliveira dos Santos Fontenelle  
Renata de Araújo e Silva  
Rinaldo dos Santos Araújo  
Ronaldo Ferreira do Nascimento  
Roselayne Ferro Furtado  
Selene Maia de Moraes  
Silvio Gentil Jacinto Junior  
Viviane da Silva Barros



## **Moderadores**

Alexandre Magno Rodrigues Teixeira  
André Luiz Herzog Cardoso  
Antonia Fádria Valentim Amorim  
Auro Tanaka  
Helcio Silva dos Santos  
Ícaro Gusmão Pinto Vieira  
Laudemir Carlos Varanda  
Lidriana de Souza Pinheiro  
Marcos André Moura Dias  
Mauro Coelho  
Mona Lisa Moura  
Mona Lisa Moura de Oliveira  
Murilo Sérgio da Silva Julião  
Nadja Maria Sales De Vasconcelos  
Paulo Nogueira Bandeira  
Rafael Pereira  
Renata Araújo  
Renato Carrha  
Rivelino Martins Cavalcante  
Selene Maia de Morais

## **Palestrantes de Painel Temático e**

### **Minicursos**

Aristides Pavani  
Atanu Biswas  
Daniel Souza Corrêa  
Éder Tade Gomes Cavalheiro  
Elisabete Frollini  
Elma Neide Vasconcelos Martins Carrilho  
Emanuel Carrilho  
Eva Mazario Masip  
Expedito Parente Jr.  
Fabio Henrique Barros de Lima  
Francisco Javier Recio Cortés  
H. N. Chang  
Isabela Taveira  
Jorge Sánchez Marcos  
Jose Manoel Marconcini  
Jurandir Picanço Jr.  
Luisa Gouveia  
Luiz Henrique Capparelli Mattoso  
Maria Clea Brito de Figueiredo  
Nieves Menéndez González  
Odilio Benedito Garrido de Assis  
Paulo Alexandre Costa Rocha  
Paulo César Marques de Carvalho  
Pilar Herrasti Gonzales  
Sergio Antônio Spinola Machado  
Sérgio Rossi

## **AGRADECIMENTOS**

Os organizadores e participantes do Simpósio de Meio Ambiente e Energia (SiMAE) agradecem, especialmente, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo auxílio financeiro (Processo número: 88881.470877 2019-01).

Os organizadores do SiMAE agradecem o fomento à pesquisa realizado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) e pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Os pesquisadores agradecem à Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo fomento à ciência.

# APRESENTAÇÃO

A Universidade Estadual do Ceará (UECE) juntamente com a Universidade de São Paulo (USP), a Embrapa Agroindústria Tropical (EMBRAPA), a Embrapa Instrumentação e a Federação das Indústrias do Estado do Ceará (FIEC) organizaram por meio do Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais (UECE – Embrapa) e do Programa de Pós-Graduação em Química do Instituto de Química de São Carlos (IQSC-USP), o I SIMPÓSIO DE MEIO AMBIENTE E ENERGIA (SiMAE) que ocorreu no período de 25 a 27 de novembro de 2020 em plataforma online integrada. O SiMAE contou com o apoio da American Chemical Society (ACS), da Sociedade Brasileira de Química (SBQ, Regional do Ceará) e do Núcleo de Estudos Ambientais (NEA). A temática escolhida, meio ambiente e a sustentabilidade, teve como objetivo geral promover a sustentabilidade ambiental e oportunizar a integração entre a academia e o setor produtivo, bem como criar estratégias de desenvolvimento sustentável e propor soluções. Este tema é importantíssimo no contexto mundial e especialmente no Brasil.

Dessa forma, os temas das palestras, painéis temáticos e as divulgações de resultados de pesquisas do I SiMAE, além de contemplarem as áreas de conhecimentos tradicionais das ciências naturais trouxeram discussões relevantes na escala global em monitoramento ambiental, tecnologias ambientais, energia e desenvolvimento sustentável e segurança ambiental.

As ciências naturais podem contribuir de forma efetiva com o conhecimento científico multi e interdisciplinar, técnicas, tecnologias e sugestões para futuras ações dos tomadores de decisão do governo (políticas públicas), das empresas e da sociedade civil. O evento proporcionou o fortalecimento das sinergias entre a comunidade científica e o setor produtivo.

Os organizadores

## SUMÁRIO

### TRABALHOS DA ÁREA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL

1. A INFLUÊNCIA DO PLANO DIRETOR NA PROBLEMÁTICA DAS ENCHENTES EM GOVERNADOR VALADARES-MG.....	15
2. ANÁLISE ESPACIAL DO MERCÚRIO EM AMBIENTES AQUÁTICOS DO BIOMA CERRADO.....	21
3. ANÁLISE TEMPORAL DA ESTRUTURA DA PAISAGEM E FRAGMENTAÇÃO NA APA DA SERRA DE BATURITÉ NO CEARÁ.....	27
4. AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS DO RIO COCÓ NA REGIÃO DA SABIAGUABA SOB CONDIÇÃO DE MARÉ CHEIA NO PORTO DO MUCURIBE .....	34
5. COMPETITIVE ADSORPTION OF Cr(III) AND Cr(VI) BY SUGARCANE BAGASSE MAGNETIC NANOCOMPOSITE IN WATER MATRIX: A PH STUDY.....	40
6. ELEMENT CONTENTS IN THE LOWER SÃO FRANCISCO RIVER ASSESSED BY INDUCTIVELY COUPLED PLASMA OPTICAL EMISSION SPECTROMETRY (ICP OES) ANALYSIS.....	47
7. ESTUDO DE ISOTERMA DE ADSORÇÃO EMPREGANDO A FOLHA DO BAMBURRAL PARA A REDUÇÃO DE DUREZA NA ÁGUA .....	54
8. FUNGOS ANEMÓFILOS EM AMBIENTES INTERNOS E EXTERNOS DE UM CEMITÉRIO DO MUNICÍPIO DE FORTALEZA, CEARÁ .....	60
9. GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA.....	67
10. GEOPROCESSAMENTO APLICADO AOS RECURSOS HÍDRICOS.....	78
11. MAPEAMENTO DE ÁREAS COM RISCO DE CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM UMA COMUNIDADE RURAL NO SEMIÁRIDO CEARENSE...91	
12. MONITORAMENTO DE AVIFAUNA EM PARQUE EÓLICO.....	98
13. MONITORAMENTO ONLINE DE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS PARA USO AGRÍCOLA.....	104
14. O CICLO URBANO DA ÁGUA: MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS .....	111

15. QUALIDADE E PRODUÇÃO DE ÁGUA BRUTA DE UMA MICROBACIA EM SISTEMA KÁRSTICO NA REGIÃO DE SANTO HIPÓLITO – MG.....	122
16. REMOVAL OF THE PESTICIDE THIAMETHOXAM BY ACTIVATED CARBON MAGNETIC NANOCOMPOSITE IN WATER MATRIX.....	129
17. USO DO GEOPROCESSAMENTO NA IDENTIFICAÇÃO DE QUEIMADAS NO MUNICÍPIO DE REDENÇÃO-CE.....	137
18. UTILIZAÇÃO DE MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS E ÍNDICES BIÓTICOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM ECOSISTEMAS AQUÁTICOS.....	144

#### **TRABALHOS DA ÁREA DE TECNOLOGIAS AMBIENTAIS**

19. A IMPORTÂNCIA DA LOGÍSTICA REVERSA NA PRESERVAÇÃO AMBIENTAL....	158
20. AÇÕES DE ATUAÇÃO SOBRE BOAS PRÁTICAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS URBANOS EM UMA OCUPAÇÃO DE BELO HORIZONTE.....	173
21. ANÁLISE DE VARIÁVEIS DA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM ESCALA GLOBAL.....	180
22. ANÁLISE DO POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS: UM ESTUDO DE CASO EM FORTALEZA/CE.....	187
23. ANÁLISE PATENTOMÉTRICA DE TECNOLOGIAS DE REATORES UASB PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES.....	194
24. ATIVIDADE ANTIFÚNGICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE CYMBOPOGON WINTARIANUS CONTRA ISOLADOS CLÍNICOS DE CANDIDA ALBICANS.....	201
25. AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE LOCOMOTORA E TESTE DE TOXICIDADE DO EUGENOL UTILIZANDO ZEBRAFISH ( <i>DANIO RERIO</i> ) ADULTO.....	209
26. AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA NÃO CLÍNICA DO EXTRATO DAS FOLHAS DE <i>COMBRETUM LANCEOLATUM</i> EM ZEBRAFISH ADULTO.....	216
27. ESTUDO CIRCADIANO E AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA NÃO CLÍNICA DOS ÓLEOS ESSENCIAIS DE <i>CROTON BLANCHETIANUS</i> EM ZEBRAFISH ( <i>DANIO RERIO</i> ) ADULTO.....	223
28. AVALIAÇÃO DO EFEITO ANSIOLÍTICO DO EXTRATO ETANÓLICO DAS FOLHAS DO <i>COMBRETUM LANCEOLATUM</i> EM ZEBRAFISH ( <i>DANIO RERIO</i> ) ADULTO.....	231

<b>29.</b> AVALIAÇÃO <i>IN VITRO</i> DA ATIVIDADE FOTOPROTETORA DE <i>BRYOPHYLLUM LAETIVIRENS</i> (DESC.) V.V.BYALT.....	<b>237</b>
<b>30.</b> CHALCONA ( <i>E</i> )-3-(2- FLUOROFENIL) -1-(2-HIDROXI-3,4,6-TRIMETOXIFENIL) PROP-2-EN-1-ONA REVERTE COMPORTAMENTO CONVULSIVO EM ZEBRAFISH ( <i>DANIO RERIO</i> ) ADULTO.....	<b>245</b>
<b>31.</b> COMPARAÇÃO ENTRE TECNOLOGIAS DE RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	<b>252</b>
<b>32.</b> DIGESTÃO ANAERÓBICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS: UMA REVISÃO DO ESTADO DA ARTE .....	<b>258</b>
<b>33.</b> EFEITO ANSIOLÍTICO DAS CASCAS DE AZADIRACHTA INDICA (NEEM, MELIACEAE) NA ANSIEDADE CRÔNICA INDUZIDA POR AGUARDENTE.....	<b>271</b>
<b>34.</b> EFEITO ANTI-INFLAMATÓRIO DO EXTRATO DE <i>COMBRETUM LANCEOLATUM</i> VIA EDEMA ABDOMINAL FRENTE ZEBRAFISH.....	<b>278</b>
<b>35.</b> EFEITO ANTINOCICEPTIVO DO TRITERPENO ÁCIDO ACETIL ALEURITÓLICO EM ZEBRAFISH ADULTO: PARTICIPAÇÃO DOS CANAIS ASICs.....	<b>285</b>
<b>36.</b> EFEITO DO ANÁLOGO DO CARDANOL HIDROGENADO NO CONTROLE <i>IN VITRO</i> DO FITOPATÓGENO <i>LASIODIPLODIA THEOBRAMAE</i> .....	<b>292</b>
<b>37.</b> EFFECT OF PH ON THE SIMULTANEOUS SORPTION OF Cr(III) AND Cr(VI) BY MAGNETIC NANOMODIFIED LETTUCE ROOTS IN AQUEOUS MEDIUM.....	<b>298</b>
<b>38.</b> ELETROCOAGULAÇÃO COM ANODOS DE ALUMÍNIO E AÇO DE LIXIVIADO SINTÉTICO DE ATERRO SANITÁRIO.....	<b>304</b>
<b>39.</b> ESTUDO DA COMBUSTÃO CATALÍTICA DE GLP EM QUEIMADOR POROSO CONTENDO PEROVSKITAS .....	<b>312</b>
<b>40.</b> ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DE NANOTECNOLOGIA EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS EM SÃO MIGUEL DOS MILAGRES – ALAGOAS .....	<b>319</b>
<b>41.</b> ESTUDO DE ESTABILIDADE DE BIOHIDROGEL DE GALACTOMANANA ASSOCIADO A MANTEIGA DE KARITÉ .....	<b>326</b>
<b>42.</b> ESTUDO SOBRE USO DE EQUIPAMENTOS DE CORTE E IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS ASSOCIADOS AOS PROFISSIONAIS DOS AÇOUGUES DO MERCADO SÃO SEBASTIÃO EM FORTALEZA .....	<b>335</b>

43. EVIDÊNCIAS GLOBAIS DA RELAÇÃO ENTRE INDICADORES SOCIAIS DA POPULAÇÃO E A GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS .....	345
44. FORMULAÇÃO DE SUBSTRATO SUSTENTÁVEL À BASE DE RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA .....	351
45. GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS NOS PORTOS PÚBLICOS BRASILEIROS.....	358
46. GESTÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA PARA A PRODUÇÃO DE BIOPRODUTOS DA MICROALGA <i>RAPHIDOCELIS SUBCAPITATA</i> .....	365
47. GROWTH PERFORMANCE OF <i>PSEUDOKIRCHNERIELLA SUBCAPITATA</i> ON DILUTED OR PRETREATED VINASSE .....	372
48. INFLUÊNCIA DO CICLO CIRCADIANO NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE <i>MARSYPIANTHES CHAMAEDRYS</i> DO NORTE DO ESTADO DO CEARÁ (BRASIL) .....	381
49. NANOCOMPÓSITOS DE QUITOSANA COMO BIOADSORVENTES DE METAIS PESADOS: UMA REVISÃO DE LITERATURA .....	388
50. OBTENÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DA CANA DE AÇÚCAR: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	403
51. OBTENÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DO CRAVO DA ÍNDIA ( <i>SYZYGIUM AROMATICUM</i> ) E AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA NÃO CLÍNICA UTILIZANDO ZEBRAFISH ( <i>DANIO RERIO</i> ) ADULTO .....	413
52. PERSPECTIVAS DA REUTILIZAÇÃO DE EFLUENTE TRATADO .....	420
53. PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS COMO UM CAMINHO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: UM RETRATO DAS EMPRESAS CEARENSES.....	433
54. QUALIFICAÇÃO DOS DEGRADAMENTOS ABRASIVOS DO GRANITO ORNAMENTAL CINZA ANDORINHA COM FEIÇÕES TEXTURAIS CONSIDERADAS <i>DEFEITOS</i> ..	447
55. SÍNTESE DE QUITOSANA SULFATADA PARA ADSORÇÃO DE $Cu^{+2}$ .....	457
56. SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NANOEMULSÕES POLIMÉRICAS DE GOMA XANTANA E GOMA ARÁBICA ENCAPSULANTES DE ÓLEO ESSENCIAL DE <i>EUCALYPTUS CITRIODORA</i> .....	465
57. UP-CYCLING GLYCERIN AND VINASSE BY MEANS OF MICROALGAE CULTIVATION – MINIREVIEW.....	473

58. USO DA BIOMASSA COMO FONTE ENERGÉTICA PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS .....	488
59. USO DE BORRA OLEOSA DE PETRÓLEO NA PRODUÇÃO DE ENERGIA .....	503
60. VALORAÇÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO ATRAVÉS DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA E BIOPRODUTOS DE <i>NANNOCHLOROPSIS OCEANICA</i> ..	510

### **TRABALHOS DA ÁREA DE ENERGIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

61. APROVEITAMENTO DO LODO DE ESGOTO PROVENIENTE DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES (ETEs) PARA OBTENÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS POR PIRÓLISE: VIA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV) .....	519
62. AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS: UMA COMPARAÇÃO ENTRE AS TECNOLOGIAS MONOCRISTALINO E FILME FINO DE CdTe .....	528
63. AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES DE TRAÇÃO E FLEXÃO DE COMPÓSITOS DE ABS RECICLADO REFORÇADOS COM TECIDOS DE FIBRAS DE JUTA.....	536
64. DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL BIOADSORVENTE A PARTIR DA CARBOXIMETILAÇÃO DA GOMA DO CAJUEIRO .....	543
65. DESENVOLVIMENTO DE MUDAS PIMENTAS DEDO-DE-MOÇA ( <i>CAPSICUM BACCATUM</i> ) EM SUBSTRATOS A BASE LODO DE CURTUME E MOINHA DE CAFÉ.....	550
66. DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE ESTABILIDADE DE NANOEMULSÕES DE ALGINATO DE SÓDIO COM ÓLEO ESSENCIAL DE <i>EUCALYPTUS CITRIODORA</i> ..	558
67. DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL E SIMULADA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS USANDO O ADM1: CALIBRAÇÃO DO MODELO .....	566
68. GASEIFICAÇÃO E PIRÓLISE DA CASCA DA CASTANHA DE CAJU (CCC) EM ESTUDOS DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV) PARA FINS ENERGÉTICOS .....	574
69. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SUBSTRATOS, PREVENDO A QUANTIFICAÇÃO DE BIOGÁS: UMA REVISÃO DA LITERATURA PARA A VALORIZAÇÃO DESTE BIOCOMBUSTÍVEL .....	582



<b>70. PANORAMA ESTATÍSTICO DO BIOGÁS NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA</b>	<b>597</b>
<b>71. REDUÇÃO ELETROQUÍMICA DE CO<sub>2</sub> UTILIZANDO ELETROCATALISADORES DE COBRE COM FENANTROLINA</b>	<b>604</b>
<b>72. RELAÇÃO ENTRE ENERGIA EÓLICA E MEIO AMBIENTE</b>	<b>611</b>
<b>73. ROTAS SINTÉTICAS PARA OBTENÇÃO DO BIOQUEROSENE</b>	<b>623</b>
<b>74. SÍNTESE DE PONTOS QUÂNTICOS DE CARBONO A PARTIR DE QUITOSANA</b>	<b>633</b>
<b>75. SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NA GESTÃO ENERGÉTICA: PESQUISA QUALITATIVA NO SETOR DE ENERGIA LIMPA CEARENSE</b>	<b>645</b>

### **TRABALHOS DA ÁREA DE SEGURANÇA AMBIENTAL**

<b>76. ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DE MICROPARTÍCULAS DE ÓLEO DE PEQUI (<i>CARYOCAR CORIACEUM</i> WITTM.) EM MATRIZ POLIMÉRICA DE ALGINATO E QUITOSANA</b>	<b>670</b>
<b>77. ATIVIDADE ANTIFÚNGICA E COMPOSTOS FENÓLICOS DE PLANTAS DA FAMÍLIA ANACARDIACEAE</b>	<b>677</b>
<b>78. CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DE MICROCAPSULAS DE ÓLEO DE PEQUI OBTIDAS POR COACERVAÇÃO COMPLEXA</b>	<b>686</b>
<b>79. COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DA POLPA DOS FRUTOS DE <i>MAURITIA FLEXUOSA</i> L. F. DO CARIRI CEARENSE</b>	<b>694</b>
<b>80. METAIS PESADOS COMO CONTAMINANTES QUÍMICOS ALIMENTARES: UMA REVISÃO INTEGRATIVA</b>	<b>701</b>
<b>81. O USO DE QUINOXALINAS NATURAIS COMO PESTICIDAS EM SUBSTITUIÇÃO ÀS ALTERNATIVAS SEMISSINTÉTICAS E SINTÉTICAS</b>	<b>713</b>
<b>82. PERFIL DE COMPOSTOS VOLÁTEIS DE PEDÚNCULOS DE NOVOS CLONES DE CAJUEIRO (<i>ANACARDIUM OCCIDENTALE</i> L.)</b>	<b>721</b>
<b>83. POLUENTES EMERGENTES EM ÁGUA CINZA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA</b>	<b>729</b>
<b>84. VOLATILE COMPOSITION OF <i>C. XANTHOCARPA</i> BERG WITH OCCURRENCE IN SOUTHERN BRAZILIAN NATIONAL FOREST</b>	<b>744</b>

# I SIMPÓSIO DE MEIO AMBIENTE E ENERGIA

---



**TRABALHOS DA ÁREA DE MONITORAMENTO AMBIENTAL**



## **A INFLUÊNCIA DO PLANO DIRETOR NA PROBLEMÁTICA DAS ENCHENTES EM GOVERNADOR VALADARES-MG**

**James E. C. da Silva\*<sup>1</sup>, Enzo H. de O. e Silva<sup>1</sup>, Ewerson B. Carvalho<sup>1</sup>, Dayane G. Ferreira<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade do Vale do Rio Doce, \*e-mail: james1d8eduardo@gmail.com.

**RESUMO:** A expansão do processo de urbanização está associada com as transformações no entorno de cursos fluviais e a problemática das enchentes é algo recorrente. O presente trabalho tem como objetivo de fazer um estudo da urbanização de Governador Valadares a partir da análise do plano diretor e como isso colabora para a redução ou aumento dos impactos das enchentes. Foi feito, uma análise do plano diretor e pesquisas em periódicos levando em virtude a problemática das enchentes. No qual realizamos uma análise profunda quanto ao uso e ocupação do solo e a drenagem urbana do município. Governador Valadares, apresenta pouco ambiente ripário, sendo um fator determinante para a causa das enchentes. Além disso, a invasão de pessoas em Áreas de Preservação Permanente e Áreas Verdes afins de construir, também acaba influenciando essa problemática. Dessa maneira, muitos bairros ficam suscetíveis com as enchentes do Rio Doce. Ademais, a Lei de Uso e Ocupação do Solo Urbano detalharão as áreas propostas pelo Plano Diretor. Portanto, o Plano Diretor de Governador Valadares propõe soluções que poderiam diminuir as enchentes no município.

**Palavras-chave:** Enchentes. Planejamento. Drenagem.

**ABSTRACT:** The expansion of the urbanization process is associated with changes in the surroundings of river courses and the problem of flooding is recurrent. The present work has as objective to make a study of the urbanization of Governador Valadares from the analysis of the master plan and how it collaborates for the reduction or increase of the

impacts of the floods. An analysis of the master plan and research in journals were carried out, taking into account the problem of flooding. In which we carry out an in-depth analysis of land use and occupation and urban drainage of the municipality. Governador Valadares, presents little riparian environment, being a determining factor for the cause of the floods. In addition, the invasion of people in Permanent Preservation Areas and Green Areas in order to build, also ends up influencing this problem. In this way, many neighborhoods are susceptible to the floods of the Rio Doce. In addition, the Urban Land Use and Occupation Law will detail the areas proposed by the Master Plan. Therefore, the Governor Valadares Master Plan proposes solutions that could reduce flooding in the municipality.

**Keywords:** Floods. Planning. Drainage

## 1 INTRODUÇÃO

A partir do século XVIII com o início da primeira revolução industrial e sua intensificação logo em seguida, ocorreu um processo desordenado de urbanização denominado, êxodo rural, que contribuiu para a expansão dos centros urbanos em escala mundial (SPOSITO, 1988). Além disso, a expansão do processo de urbanização está associada com as transformações no entorno de cursos fluviais (de OLIVEIRA, 1999). No Brasil, ocorreu a aplicação desse modelo, no qual temos como exemplo a expansão de Governador Valadares-MG ao longo do Rio Doce.

Diante desse contexto, o desenvolvimento urbano trouxe diversos efeitos negativos ao meio ambiente (PEREIRA, 2016). No qual temos a problemática das enchentes como um dos principais problemas atualmente, uma vez que o processo de urbanização nas encostas fluviais irá desencadear para que esse problema ocorra (de OLIVEIRA, 1999).

Nesse cenário, os principais problemas são desencadeados pela falta de planejamento urbano, controle e uso de ocupação do solo e sistemas de drenagem inadequados. Assim, como forma de solucionar esses problemas, a Constituição Federal criou um mecanismo legal chamado Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano no ART.

182, caput da CF/88 (TUCCI, 1998). No qual, tem como objetivo de estabelecer uma qualidade de vida para todos e que a cidade cresça de maneira equilibrada. Neste sentido, o presente trabalho tem o intuito de fazer um estudo da urbanização de Governador Valadares a partir da análise do plano diretor e como isso colabora para a redução ou aumento dos impactos das enchentes.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi realizado no perímetro urbano de Governador Valadares-MG (Figura 1). No qual, o município está localizado no Vale do Rio Doce, apresentando uma área urbana de 58 Km<sup>2</sup>, sendo a nona cidade mais populosa de Minas Gerais, com 279.855 habitantes de acordo com o Censo DemoGráfico de 2019.

Foi feito uma análise do Plano Diretor do município (LEI COMPLEMENTAR Nº 95, DE 27-12-2006) entre abril e junho de 2020. Além de ter feito, um levantamento teórico com periódicos (Capes, Google Scholar e Scielo), livros e documentos sobre a investigação do histórico de urbanização da cidade, levando em virtude a problemática das enchentes. No qual realizamos uma análise profunda quanto ao uso e ocupação do solo e a drenagem urbana do município.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A cidade de Governador Valadares apresentou diversas enchentes ao longo da sua história, um dos principais motivos foi o processo intensificado de urbanização, principalmente por conta da estação de ferro inaugurada em 1910 e pela cidade ser próxima ao Rio Doce (GENOVEZ, 2012). De acordo com a SECOM/PMGV, em 1979 houve a maior cheia do Rio Doce no município, no qual atingiu cerca de 5,18 m.

O COMDEC-GV fez um levantamento em toda a cidade de Governador Valadares e estabeleceu os principais pontos críticos de enchentes no município. Conforme a tabela mostrada abaixo, a Ilha dos Araújos é onde tem a maior cota da régua do SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto) com 285 cm e o principal bairro com pontos críticos é a Nova Santa Rita.

**Tabela 1 - Pontos Críticos em Governador Valadares**

Bairro	Rua	Cota da régua do SAAE
<i>São Tarcísio</i>	Cláudio Manoel	195
<i>Nova Santa Rita</i>	Várias ruas principalmente entre as ruas Rodolfo de Abreu e a Amélia Habib.	220
<i>Santa Rita</i>	Ruas Washington Luiz, Divisa e Rodrigues Alves	225
<i>São Pedro</i>	Av. Rio Doce e a rua Álvaro Reis	240
<i>São Paulo</i>	Entroncamento das ruas Mestre João Lucas com Av. Rio Doce, Lincoln Byrro, Américo Martins, Virgílio Gobby e Prata.	250
<i>Santa Terezinha</i>	Casas que margeiam o Rio Doce, pelos fundos das ruas Salvador, Belém e São Luiz	250
<i>Ilha dos Araújos</i>	Principalmente as ruas 14, 12 e 24	285

Fonte: COMDEC-GV.

Segundo o Plano diretor da cidade, ele tem como objetivo de ser o instrumento básico da Política de Desenvolvimento e de Expansão Urbana do Município. No qual as políticas, planos, programas, projetos e obras realizadas no município deverão atender as diretrizes indicadas na lei.

O planejamento urbano é fundamental para o desenvolvimento das cidades, se tornando um grande desafio, principalmente por conta da expansão da malha urbana (CASSILHA, 2009). Dessa forma, o Plano diretor de Governador Valadares tenta estabelecer um modo de evitar e corrigir as distorções do crescimento urbano e seus efeitos negativos sobre o Meio Ambiente.

Segundo Lira *et al.* (2013), a existência de vegetação no entorno dos corpos d'água auxilia as funções hidrológicas das bacias hidrográficas, tanto na qualidade

quanto no regime de fluxo da água, sendo motivo de atenção em ações de planejamento e recuperação do ambiente ripário.

O desmatamento das áreas ciliares é uma das principais causas da problemática das enchentes. No entanto, é apresentado no Plano diretor da cidade que deve ser feito a proteção e a reposição das matas ciliares ao redor dos corpos d'água. Porém, podemos perceber que a cidade de Governador Valadares, apresenta pouco ambiente ripário. No qual, um dos principais motivos deve-se a invasão de pessoas em Áreas Verdes afins de construir algum imóvel. Dessa maneira, muitos bairros ficam suscetíveis com as enchentes do Rio Doce.

Além disso, outros principais causadores das enchentes é a falta de uma boa drenagem nas ruas e descumprimentos das leis envolvendo o Uso e Ocupação do solo. Assim, o Plano diretor da cidade tenta priorizar os investimentos públicos em drenagem, promovendo a pavimentação de todas as vias do município em função da capacidade de tráfego, no qual sempre irá optar por soluções associadas a um sistema de drenagem pluvial. Ademais, a Lei de Uso e Ocupação do Solo Urbano detalharão as áreas propostas pelo Plano Diretor. Dessa forma, se o município seguir todas diretrizes propostas, poderá ter uma diminuição na problemática das enchentes.

#### **4 CONCLUSÕES**

Portanto, o Plano Diretor de Governador Valadares propõe soluções que poderiam diminuir as enchentes no município. Porém, elas não são aplicadas de maneira efetiva, principalmente a Lei de Uso e Ocupação do Solo Urbano, em decorrência da falta de regularização. Pois, muitas Áreas Verdes estão ocupadas indevidamente, assim a aplicação do Plano Diretor de uma forma mais efetiva, poderia solucionar esse problema das enchentes na cidade.

#### **5 AGRADECIMENTOS**

UNIVALE. CAPES. CNPQ. Prefeitura Municipal de Governador Valadares-MG.

## 6 REFERÊNCIAS

CASSILHA, G. A.; CASSILHA, S. A. **Planejamento urbano e meio ambiente. Planejamento urbano e meio ambiente.** Curitiba: IESDE BRASIL SA, 2009. 176p.

DE OLIVEIRA, R. C. A problemática das enchentes e o planejamento urbano. **Geografia**, v. 24, n. 2, p. 65-67, 1999.

LIRA, W. S.; CÂNDIDO, G. A. **Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa.** Campina Grande: EDUEPB. 2013, 326p.

PEREIRA, P. C. X. Processos e problemas na urbanização da América Latina: teoria e história. **Territórios**, v. 34, p. 35-58, 2016.

SPOSITO, M. E. B. **Capitalismo e urbanização.** São Paulo: Contexto, 1988. 92p.

TUCCI, C. E. M. Plano diretor de drenagem urbana: princípios e concepção. **Revista brasileira de recursos hídricos**, v. 2, n. 2, p. 5-12, 1997.



## ANÁLISE ESPACIAL DO MERCÚRIO EM AMBIENTES AQUÁTICOS DO BIOMA CERRADO

Lucas C. Monteiro\*<sup>1</sup>, Iara O. Fernandes<sup>2</sup>, Sandy F. B. Oliveira<sup>2</sup>, Emily S. F. Maciel<sup>1</sup>,  
Ygor O. S. Rodrigues<sup>1</sup>; José V. E. Bernardi<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Bacharelado em Gestão Ambiental, Universidade de Brasília, Faculdade UnB Planaltina,  
\*e-mail: lcabreramonteiro@gmail.com.

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade de Brasília,  
Faculdade UnB Planaltina.

**RESUMO:** A emissão de mercúrio (Hg) por atividades antrópicas tornou-se um processo capaz de modificar o seu ciclo biogeoquímico natural, alterando sua distribuição espacial e temporal. O presente estudo analisou as concentrações e a distribuição espacial de mercúrio total (HgT) nos sedimentos superficiais da Estação Ecológica de Águas Emendadas. A concentração de HgT no sedimento variou de 16,12 a 96,80 ng.g<sup>-1</sup>, com média de 41,46 ng.g<sup>-1</sup> ( $\pm 28,01$ ). A combinação entre o modelo digital de elevação e os autovetores indicou a orientação do HgT em direção às menores altitudes, favorecendo o acúmulo nos riachos. A tendência da distribuição decrescente do HgT de fora para o centro da Estação Ecológica e as maiores concentrações no córrego Fumal, indicam as rodovias como principais fontes de HgT na área de estudo. Portanto, a combinação das análises espaciais foi eficaz para a determinação da distribuição de mercúrio e definição de locais mais vulneráveis à poluição.

**Palavras-chave:** Transporte de mercúrio. Ecossistemas aquáticos. Rodovias.

**ABSTRACT:** The emission of mercury (Hg) by anthropic activities has become a process capable of modifying its natural biogeochemical cycle, altering its spatial and temporal distribution. This study analyzed the concentrations and spatial distribution of total mercury (HgT) in the surface sediments of the Águas Emendadas Ecological Station. The concentration of HgT in the sediment varied from 16.12 to 96.80 ng.g<sup>-1</sup>, with an average

of 41.46 ng.g<sup>-1</sup> ( $\pm$  28.01). The combination of the digital elevation model and the autovetors indicated the orientation of the HgT towards the lower altitudes, favoring the accumulation in the streams. The trend of decreasing distribution of HgT from outside to the center of the Ecological Station and the higher concentrations in the Fumal stream, indicate the roads as the main sources of HgT in the study area. Therefore, the combination of spatial analysis was effective in determining the distribution of mercury and defining the most vulnerable locations for pollution.

**Keywords:** Mercury transport. Aquatic Ecosystems. Roads.

## 1 INTRODUÇÃO

O mercúrio (Hg) é um metal tóxico que a depender da sua forma química e concentração, pode ocasionar danos aos organismos e à saúde humana (UNEP, 2019). Esse elemento é distribuído naturalmente na crosta terrestre, no entanto, a emissão de Hg por atividades antrópicas tornou-se um processo capaz de modificar seu ciclo biogeoquímico global, excedendo as taxas naturais e alterando sua distribuição espacial e temporal (OUTRIDGE *et al.*, 2018).

O transporte e a subsequente deposição atmosférica do Hg possibilitam a poluição de áreas próximas e em locais distantes das fontes diretas, como as rodovias (FITZGERALD *et al.*, 1998; LIU *et al.*, 2012). Uma vez depositado no ecossistema aquático, o material particulado rico em Hg<sup>+2</sup>, forma solúvel do Hg, se agrega ao sedimento, que representa um compartimento ambiental favorável ao processo de metilação do Hg (ESTEVES, 1998; PORTELA *et al.*, 2020).

Considerando a importância toxicológica do Hg e a carência de estudos desse caráter no bioma Cerrado, o presente estudo visou analisar as concentrações e distribuição espacial de mercúrio total (HgT) nos sedimentos superficiais da Estação Ecológica de Águas Emendadas, bem como identificar possíveis interferências antrópicas pelas rodovias por meio de análises espaciais.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

A Estação Ecológica de Águas Emendadas (ESEC-AE) é uma unidade de conservação (UC) de proteção integral situada na Região Administrativa de Planaltina, no Distrito Federal. Sua área é dividida entre o polígono situado entre as rodovias DF-128, DF-205, DF-345 e BR-020, e Lagoa Bonita. A região apresenta clima tropical úmido de savana com inverno seco (Aw), de acordo com a classificação de Köppen (FONSECA *et al.*, 2008). A ESEC-AE situa-se no interflúvio entre duas importantes bacias hidrográficas da região Centro-Oeste, a do rio Maranhão, ao norte; e do rio São Bartolomeu, ao sul (FONSECA *et al.*, 2008).

### 2.2 Coleta e processamento de amostras

As amostras de sedimento foram coletadas em 8 unidades amostrais com a draga de *Eckman-Birge*, acondicionadas em sacos plásticos e rotuladas. Em laboratório, as amostras foram secas em estufa a 50°C até peso constante, desagregadas em cadinho com pistilo de porcelana, peneiradas até 20µm e armazenadas em tubos *Eppendorf* até a análise química.

### 2.3 Determinação de mercúrio total

A determinação quantitativa de HgT foi realizada pelo equipamento portátil LUMEX (RA-915+), por espectrofotometria de absorção atômica acoplado a uma câmara de pirólise (Pyro-915) (SHOLUPOV *et al.*, 2004). Todas as leituras estavam dentro dos limites de quantificação (0,0129 ng.mg<sup>-1</sup>) e detecção (0,0039 ng.mg<sup>-1</sup>) estabelecidos pela curva de calibração. A validação do método analítico obteve taxa de recuperação de 102% (SRM 1515 - *Apple leaves*).

### 2.4 Análise espacial

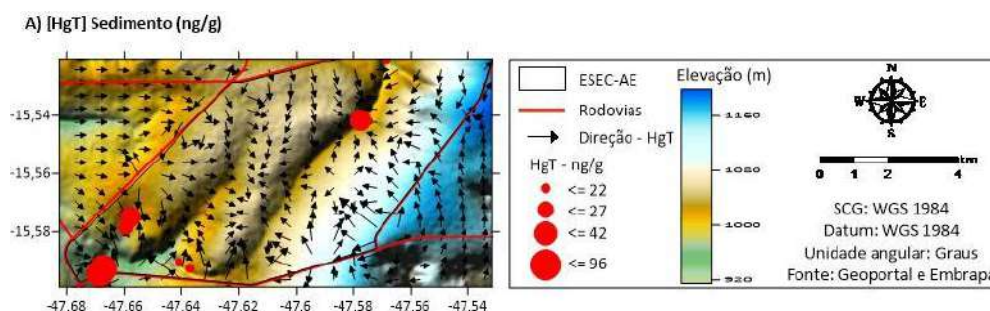
O método da krigagem linear foi utilizado para realizar o mapa vetorial que determinou a direção e magnitude do HgT dos solos superficiais. As concentrações de Hg nesses solos foram obtidas pelo banco de dados do Laboratório de Geoestatística e Geodésia (FUP/UnB) (MACIEL, 2018; DE SOUZA, 2019). O modelo digital de elevação foi obtido através das imagens *raster* e do radar *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), o HgT nos sedimentos foi representado por meio do mapa de pontos, classificando as concentrações de forma proporcional. Todas as análises foram realizadas pelo software *Surfer 8* (Golden Software, Golden, Colorado, EUA).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O HgT no sedimento variou de 16,12 a 96,80 ng.g<sup>-1</sup>, e a concentração média foi de 41,46 ng.g<sup>-1</sup> (± 28,01), próxima das determinadas por Kisaka (2013) e Portela *et al.* (2020) em outros ecossistemas aquáticos do Distrito Federal.

A combinação entre o modelo digital de elevação e os autovetores indicaram a direção do HgT, para as menores altitudes (Figura 1). A lixiviação dos solos e o carreamento de materiais particulados provenientes do tráfego e da deposição atmosférica podem implicar no acúmulo desse poluente nos ecossistemas aquáticos (HISSLER; PROBST, 2006; ECKLEY; BRANFIREUN, 2008).

**Figura 1 – Distribuição do HgT nos ecossistemas aquáticos e solos superficiais**



A tendência da distribuição dos vetores do HgT foi decrescente, de fora para o centro da ESEC-AE, o que comprova a interferência antrópica na zona de

amortecimento da Estação. As maiores concentrações ocorreram próximas à rodovia BR-020, que apresenta um expressivo tráfego de veículos automotores, indicado como a principal fonte do aporte de Hg na área estudada.

#### 4 CONCLUSÕES

O presente estudo proporcionou informações iniciais sobre as concentrações de Hg nos ecossistemas aquáticos da ESEC-AE. Esses dados são importantes para estabelecer valores de referência e para compreensão da distribuição de Hg no bioma Cerrado. A combinação das análises espaciais foi eficaz para determinação da distribuição de Hg e definição de locais mais vulneráveis à poluição, uma vez que os autovetores indicam a entrada do poluente na Estação, o que foi confirmado pelas maiores concentrações em pontos marginais às rodovias.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Professor Dr. Jurandir R. de Souza e Ms. João Pedro R. de Souza, do Laboratório de Química Analítica e Ambiental (IQ/UnB) pelo o auxílio nas análises químicas, e ao Juruna de Paula Sousa pelos dados de solo superficial.

#### 6 REFERÊNCIAS

DE SOUZA, J. V. V. Dinâmica de mercúrio nos solos da Estação Ecológica de Águas Emendadas - ESECAE: uma abordagem em função das rodovias presentes na zona de amortecimento. *In*: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 25. E DO DISTRITO FEDERAL, 16. 2019, Distrito Federal. **Anais** [...] Distrito Federal: Centro comunitário Ahtos Bulcao, 2019.

ECKLEY, C. S.; BRANFIREUN, B. Mercury mobilization in urban stormwater runoff. **Science of the Total Environment**, v. 403, n. 1–3, p. 164–177, 2008.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 826 p.

FITZGERALD, W. F.; ENGSTROM, D. R.; MASON, R. P. NATER, E. A. The case for atmospheric mercury contamination in remote areas. **Environmental Science and Technology**, v. 32, n. 1, p. 1–7, 1998.

FONSECA, F. O.; FONSECA, P. C. M.; OLIVEIRA, M. M. G. **Águas emendadas**. Brasília: Secretaria de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente–Seduma, 2008. 542 p.

HISSLER, C.; PROBST, J. L. Impact of mercury atmospheric deposition on soils and streams in a mountainous catchment (Vosges, France) polluted by chlor-alkali industrial activity: The important trapping role of the organic matter. **Science of the Total Environment**, v. 361, n. 1–3, p. 163–178, 2006.

KISAKA, Tiago Borges. **Análise quantitativa de mercúrio no bioma Cerrado - Estudo de caso na Lagoa Bonita, Planaltina, DF**. 2013. 60 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Gestão Ambiental) - Universidade de Brasília, Planaltina, 2013.

LIU, Q.; LIU, Y.; ZHANG, M. Mercury and cadmium contamination in traffic soil of Beijing, China. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 88, n. 2, p. 154–157, 2012.

MACIEL, Bruno Leandro Oliveira. **Contaminação de solos marginais das rodovias no entorno da estação ecológica de águas emendadas**. 2018. 22 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Gestão Ambiental) - Universidade de Brasília, Planaltina, 2018.

OUTRIDGE, P. M.; MASON, R. P.; WANG, F.; GUERRERO, S.; HEIMBÜRGER-BOAVIDA, L. Updated Global and Oceanic Mercury Budgets for the United Nations Global Mercury Assessment 2018. **Environmental Science and Technology**, v. 52, n. 20, p. 11466–11477, 2018.

PORTELA, J. F.; SOUZA, J. P. R.; TONHÁ, M. S.; BERNARDI, J. V. E.; GARNIER, J.; SOUZADE, J. R. Evaluation of Total Mercury in Sediments of the Descoberto River Environmental Protection Area — Brazil. **Environmental Research and Public Health**, v. 17, p. 1–15, 2020.

SHOLUPOV, S.; POGAREV, S.; RYZHOV, V.; MASHYANOV, N.; STROGANOV, A. Zeeman atomic absorption spectrometer RA-915+ for direct determination of mercury in air and complex matrix samples. **Fuel Processing Technology**, v. 85, n. 6–7, p. 473–485, 2004.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (UNEP). **Minamata Convention on Mercury: Text and annexes**. 2019. Disponível em: <http://www.mercuryconvention.org/Convention/Text>.

## ANÁLISE TEMPORAL DA ESTRUTURA DA PAISAGEM E FRAGMENTAÇÃO NA APA DA SERRA DE BATURITÉ NO CEARÁ

Antonio P. M. de Brito<sup>\*1</sup>, Ítalo M. de M. Santos<sup>2</sup>, Raquel M. Silva<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Desenvolvimento Rural, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, \*e-mail: patrickmeneses675@gmail.com.

<sup>2</sup>Instituto de Engenharia e Energias, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

<sup>3</sup>Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará.

**RESUMO:** Esta pesquisa tem como objetivo mapear a dinâmica da fragmentação florestal na APA da serra de Baturité-CE. Para isso utilizou-se de imagens do satélite SENTINEL 2A. A combinação de bandas utilizada foi R8G4B3 com uso da ferramenta *Composite Bands* no software ArcGis 10.2. A classificação da imagem foi realizada pelo classificador MaxVer, com a ferramenta *Image Classification*. A fragmentação florestal foi determinada pelo método de métricas de paisagem. Identificou-se um aumento de área para vegetação densa, enquanto a área antropizada diminuiu. Percebeu-se também que a vegetação rala aumentou o número de fragmentos espacializados na APA. Contudo concluiu que as ferramentas metodológicas apresentaram dados pertinentes à pesquisa.

**Palavras-chave:** Geoprocessamento. Supressão vegetal. Fragmentos vegetais.

**ABSTRACT:** This research aims to map the dynamics of forest fragmentation in the APA of the Serra de Baturité-CE. For this, images from the SENTINEL 2A satellite were used. The band combination used was R8G4B3 using the Composite Bands tool in ArcGis 10.2 software. Image classification was performed by the MaxVer classifier, using the Image Classification tool. Forest fragmentation was determined by the method of landscape metrics. An increase in the area for dense vegetation was identified, while the anthropized area decreased. It was also noticed that the thin vegetation increased the number of spatial fragments in the APA. However, he concluded that the methodological tools

presented data relevant to the research.

**Keywords:** Geoprocessing. Vegetal supression. Vegetable fragments.

## 1 INTRODUÇÃO

Em decorrência da busca indiscriminada e extrativismo ilegal, os recursos florestais estão entre os bens naturais mais ameaçados na sociedade. Tais ações contribuem para a fragmentação dessas áreas. A fragmentação vegetal consiste na alteração de áreas naturais pela ocupação antrópica irregular, resultando no aparecimento de grandes faixas degradadas. Esta fragmentação de habitat é responsável pela redução da biodiversidade natural e resulta em prejuízos à processos ecossistêmicos fundamentais em detrimento do isolamento dos habitats (HADDAD *et al.*, 2015). Isto posto, faz-se necessário estudos sobre esses impactos, afins de identificar melhores soluções para as problemáticas encontradas. Dentre as metodologias utilizadas para esses estudos, destacam-se o uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), por meio das ferramentas de geoprocessamento, que permitem o mapeamento e dinâmica têmporo espacial dessas atividades. Influenciando nas tomadas de decisões para evitar e/ou reduzir os impactos aos ecossistemas naturais. Contudo, a pesquisa objetiva o uso do geoprocessamento para mapear a fragmentação florestal na APA da serra de Baturité no Ceará.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A APA da Serra de Baturité é a primeira e mais extensa APA criada pelo Governo do Estado do Ceará, e foi instituída através do Decreto Estadual N° 20.956, de 18 de setembro de 1990, alterado pelo Decreto N° 27.290, de 15 de dezembro de 2003. Abrange uma área total de 32.690 hectares e está localizada na porção Nordeste do Estado, na região serrana de Baturité (SEMACE, 2010). Para a referida pesquisa utilizou-se de imagens orbitais extraídas do satélite SENTINEL 2A disponibilizados no site EarthExplore – USGS, referente aos anos de análise (2015 e 2020). A combinação de



bandas utilizada foi R8G4B3 com uso da ferramenta *Composite Bands* no *software* ArcGis 10.2. A referida composição torna evidentes as regiões com vegetação densa (pela representação do vigor vegetativo) ao qual adquirem um tom mais acentuado de vermelho o que facilita a identificação. A classificação da imagem foi realizada pelo classificador de máxima verossimilhança (MaxVer) que por meio de parâmetros estatísticos considera a ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos pixels das classes. O método considera que as bandas têm distribuição normal para calcular a probabilidade de um dado pixel pertencer a uma classe específica, por tanto expressa confiabilidade na classificação. Por meio da ferramenta *Image Classification* no ArcGis realizou-se a representação das classes de ocupação do solo na área de estudo.

A identificação quantitativa das classes de ocupação e análise da fragmentação florestal foi expressa pelo modelo matemático de métricas de paisagem, através da ferramenta *Patch Analyst*, no mesmo *software*. Para Azevedo *et al.* (2016), o método corresponde a uma ferramenta do SIG (Sistema de Informação Geográfica), que permite a manipulação de modelos geoestatísticos que representam dados reais sobre um determinado ambiente. Com o uso da estatística espacial obteve-se as métricas para Nump (número de fragmentos) que expressa o número total de manchas por classe, AC (área da classe) representa a soma de todas as manchas, MPS (área média de fragmentos) expressa o tamanho médio das manchas e ED (densidade de borda) relação entre o perímetro de cada classe pela área total.

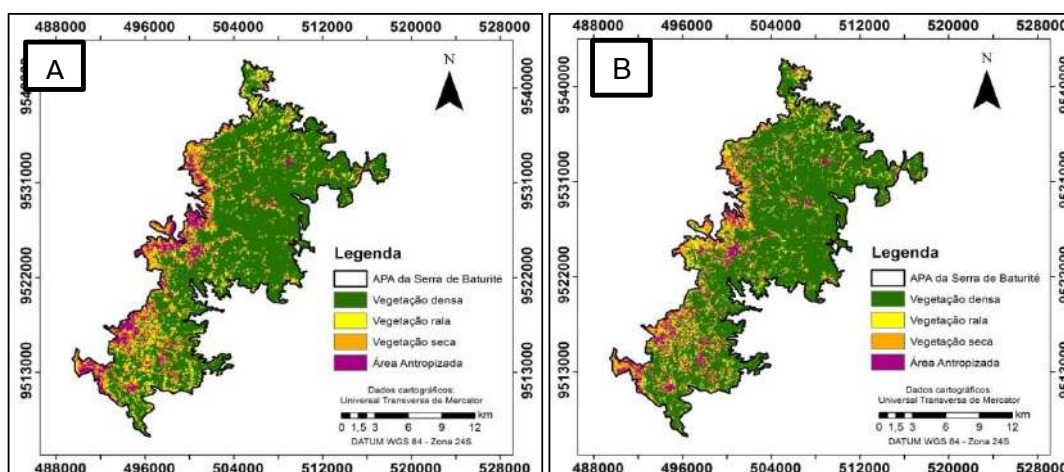
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na ocupação da cobertura do solo, identificaram-se quatro tipologias de uso da terra (Figura 1), sendo elas a vegetação densa (mata úmida, resquícios de mata atlântica), vegetação rala (cobertura vegetal com presença de árvores espaçadas e pequenos arbustos), vegetação seca (predominância de arbustos e vegetação rasteira sob o solo) e área antropizada (áreas de solo exposto, edificações e áreas agrícolas). Percebeu-se uma concentração da vegetação seca e rala na região sul da APA (Figura 1A). A vegetação densa se distribui uniformemente por toda a unidade de conservação, entretanto apresenta maior homogeneidade na porção norte e leste, que

corresponde às feições vegetais dos municípios de Guaramiranga e Pacoti. Entre 2015 a 2020 identificou-se a diminuição de fragmentos de vegetação rala entre a vegetação densa.

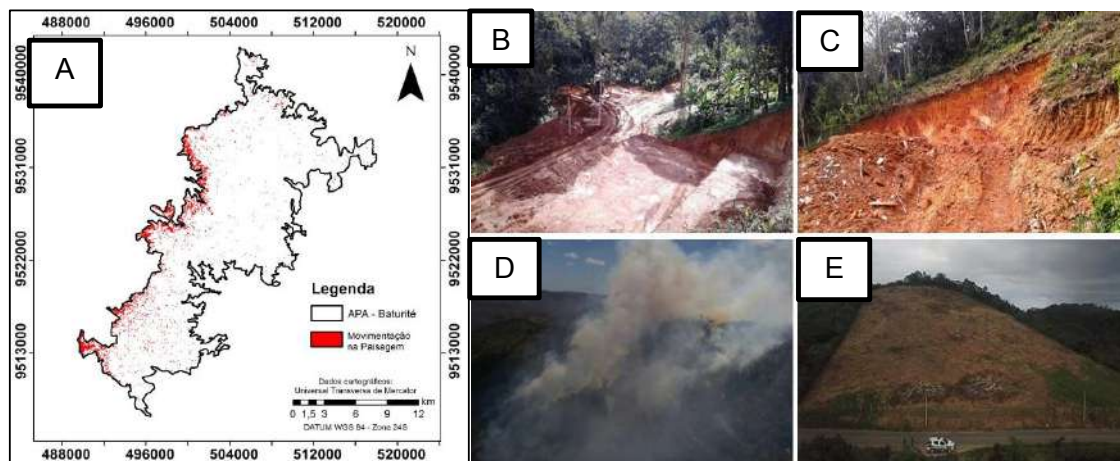
A classe de área antropizada concentra-se margeando a APA pela porção oeste que corresponde aos municípios de Mulungu, Aratuba e Guaramiranga, entretanto em 2020 identificou-se uma redução dessa classe (Figura 1B). A classe representa as atividades agrícolas frequentes na região serrana de Aratuba, principalmente o cultivo de hortaliças, e o desmatamento ilegal que ocorre nos municípios de Guaramiranga e Mulungu pela extração vegetal instigada pelo setor imobiliário (SEMACE, 2018).

**Figura 1- Uso e ocupação do solo na APA de Baturité em 2015 (A) e 2020(B)**



Salienta-se que dentre as atividades inerentes a classe de área antropizada (classe de ocupação responsável pela maior parcela da fragmentação florestal dos habitats naturais) destaca-se a extração madeireira (Figura 2B; C; E) e a limpeza do solo usando o fogo para as atividades agropecuárias. O perigo desta prática se dá ao fato de que essas queimas podem ocasionar em incêndios de grande proporção na APA (Figura 2D). Contudo, percebeu-se que a fragmentação florestal se concentrou na região oeste pela diminuição das áreas antrópicas, e ao norte, cujo identificou supressão da vegetação densa por pequenos fragmentos de vegetação seca. Já na região sul ocorreu diminuição da fragmentação antrópica pelo aumento de vegetação rala e seca. Assim, essas foram às áreas que apresentaram maiores dinâmicas na paisagem (Figura 2A).

**Figura 2– Locais de maior movimentação na paisagem na escala temporal avaliada (A). Desmatamento ilegal em Guaramiranga (B e C). Incêndio em Baturité (D) Desmatamento na serra de Baturité (E)**



Fonte: Semace (2016, 2018 e 2019).

**Quadro 1- Métricas de paisagem para análise da fragmentação florestal**

2015				
Métricas	Vegetação Densa	Vegetação Rala	Vegetação Seca	Área Antropizada
Nump	522	2.525	1.878	912
AC(ha)	19.345	4.458	2.486	3.921
MPS(%)	83,5	4	3	9,5
ED	0,00418	0,00471	0,00309	0,00281
2020				
Métricas	Vegetação Densa	Vegetação Rala	Vegetação Seca	Área Antropizada
Nump	1.497	6.269	3.780	2.469
AC(ha)	21.066	3.672	2.057	3.440
MPS(%)	84,8	3,5	3,3	8,4
ED	0,00658	0,00696	0,00361	0,00433

Nump (número de fragmentos); AC (área da classe); MPS (área média de fragmentos); ED(densidade de borda).

Com base na análise da fragmentação florestal, identificou-se que houve uma redução de área fragmentada na unidade de conservação (Quadro 1). O ano de 2015 apresentou para a área antropizada AC de 3.921 hectares enquanto 2020, 3.440. Em contrapartida para a referida classe observou-se um aumento considerável na quantidade de número de fragmentos (Nump).

Tal fato é explicado pois no ano de 2015 havia uma menor quantidade de fragmentos com extensões maiores, já em 2020 essa classe encontra-se mais espacializada pela APA, porém com pequenas extensões. De acordo com Fernandes *et al.* (2016) as métricas de AC e Nump devem ser analisadas em conjunto, se o Nump diminui e a AC(ha) aumenta, significa que ocorreu união de fragmentos. No caso da área estuda percebeu-se que ocorreu o inverso, por tanto, dispersão dos fragmentos. Identificou-se que AC(ha) da vegetação seca teve um decréscimo em 2020, observando o mapa percebeu-se que essas áreas foram substituídas principalmente pela vegetação densa e também por cobertura vegetal rala.

Em concordância com os dados apresentados, observou-se que a vegetação densa apresentou crescimento na escala temporal, em 2015 concentrava 19.345 ha e em 2020 passou a 21.066 ha. Contudo, observa-se que essa classe apresenta os maiores valores de MPS (%) para 2015 e 2020, 83,5 e 84,8 respectivamente. A densidade de borda (ED) indicou aumento para todas as classes, exceto vegetação rala que também teve AC diminuída. Os dados apresentados corroboram com os atuais dados da SEMACE, que indica que desde 2018 há uma redução no desflorestamento no estado.

#### **4 CONCLUSÕES**

Observou-se que na escala temporal analisada houve bastante movimentação nos fragmentos florestais da APA. A mata densa apresentou crescimento enquanto a área antropizada reduziu suas áreas de fragmentação. Tal fato está relacionado à intensa fiscalização e ações (governamentais) conservacionistas aplicadas na área. Isto posto, conclui-se que estudos de zoneamento ambiental são imprescindíveis para identificar mudanças nas paisagens naturais, indicando as áreas de maior vulnerabilidade.

## 5 REFERÊNCIAS

DE AZEVEDO, D. GOMES, R. L.; MORAES, M. E. B. de. Estudos da fragmentação da paisagem na definição de áreas prioritárias para a recuperação ambiental da bacia hidrográfica do rio Buranhém. **Boletim de Geografia**, v. 34, n. 2, p. 127-144, 2016.

ESRI, 2009. **Arcgis explorer website**. Adquirido sob Licença do processo 23883/11-74, pregão 289/2011. UNILAB, 2017.

FERNANDES, M.; ALMEIDA, A.; GONZAGA, M. I. da S.; GONÇALVES, F. Ecologia da Paisagem de uma Bacia Hidrográfica dos Tabuleiros Costeiros do Brasil. **Floresta e Ambiente**, v. 24, e00025015, p. 1-9, 2017.

HADDAD, N. M.; BRUDVIG, L. A.; CLOBERT, J.; DAVIES, K. F.; GONZALEZ, A.; HOLT, R. D.; LOVEJOY, T. E.; SEXTON, J. O.; AUSTIN, M. P.; COLLINS, C. D.; COOK, W. M.; DAMSCHEN, E. I.; EWERS, R. M.; FOSTER, B. L.; JENKINS, C. N.; KING, A. J.; LAURANCE, W. F.; LEVEY, D. J.; MARGULES, C. R.; MELBOURNE, B. A.; NICHOLLS, A. O.; ORROCK, J. L.; SONG, D. X.; TOWNSHEND, J. R. Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's Ecosystems. **Science Advances**, Washington, v. 1, p. 1-9, 2015.

SEMACE - Secretaria de Meio Ambiente do estado do Ceará. **Área de Proteção Ambiental da Serra de Baturité**. Página modificada em 8 dez. 2010. Disponível em: <https://www.semace.ce.gov.br>. Acesso em: 01 out. 2020.

SEMACE - Secretaria de Meio Ambiente do estado do Ceará. **Maçico de Baturité sofre com desmatamento provocado por pressão imobiliária**. Página modificada em 02 mai. 2018. Disponível em: <https://www.semace.ce.gov.br>. Acesso em: 01 out. 2020.

## **AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS FÍSICOS-QUÍMICOS DO RIO COCÓ NA REGIÃO DA SABIAGUABA SOB CONDIÇÃO DE MARÉ CHEIA NO PORTO DO MUCURIPE**

**Thiago B. Pinheiro<sup>\*1</sup>, Ana L. E. Romão<sup>2</sup>, Roberta I. de O Damasceno<sup>1</sup>, Carlucio R. Alves<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Ceará, \*e-mail: thiago.bricio@aluno.uece.br.

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Estadual do Ceará.

**RESUMO:** O principal recurso hídrico da cidade de Fortaleza é o rio Cocó, sendo considerado um rio urbanizado por ter quase 70% de sua área inserida na zona urbana de Fortaleza, por essa característica o rio sofre vários impactos antrópicos que causam degradação da água. O objetivo deste trabalho foi estudar os parâmetros físico-químicos da água do rio Cocó na área da Sabiaguaba localizado a cerca de 17 km do centro da cidade, que abriga a foz do rio Cocó e sofre fortes influências da maré. Com o auxílio da sonda multiparamétrica Aqual Troll 400 da empresa *In Situ Inc.* Foram analisados os parâmetros de pH, salinidade, temperatura e condutividade elétrica sob condições de maré alta. As medidas foram tiradas a cada 30 minutos compondo um conjunto de 8 amostragens, retiradas durante uma maior influência do fluxo da maré sob o fluxo fluvial. Concluindo que as variações gráficas dos fatores se devem a influência da maré durante a coleta de dados.

**Palavras-chave:** Estuário. Rio Cocó. Parâmetros físico-químicos.

**ABSTRACT:** The main water resource in the city of Fortaleza is the Cocó River, being considered an urbanized river because it has almost 70% of its area inserted in the urban area of Fortaleza, due to this characteristic the river suffers several anthropic impacts that cause water degradation. The objective of this work was to study the physical-chemical parameters of the water of the Cocó River in the Sabiaguaba area located about 17 km from the city center, which houses the mouth of the Cocó River and is strongly influenced by the tide. With the aid of the multiparametric probe Aqual Troll 400 from the company

In Situ Inc. The parameters of pH, salinity, temperature and electrical conductivity were analyzed under high tide conditions. The measurements were taken every 30 minutes, composing a set of 8 samples, taken during a greater influence of the tidal flow under the river flow. In conclusion, the graphical variations of the factors are due to the influence of the tide during data collection.

**Keywords:** Estuary. Cocó River. Physico-chemical parameters.

## 1 INTRODUÇÃO

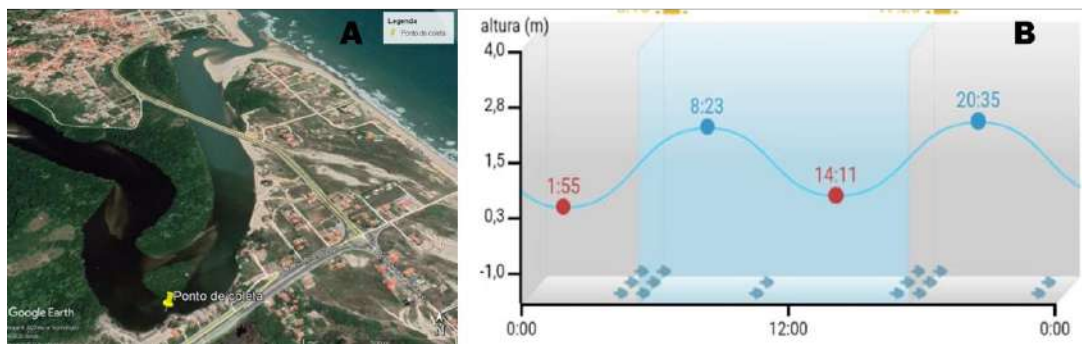
Os estuários são corpos d'água semifechados, com uma ligação direta com mar, onde a água marinha é imensuravelmente diluída pela água doce do rio que compõe o sistema estuarino, assim fazendo com que certos fatores como salinidade e condutividade sofram variações (MILLER; BERNARDES, 2014). O principal recurso hídrico da cidade de Fortaleza é o rio Cocó, com uma trajetória de aproximadamente 45 km. Tendo sua nascente na vertente oriental da Serra de Aratanha, município de Pacatuba, e seu estuário na costa leste da capital (BARBOSA *et al.*, 2012). Em parte, o rio Cocó é diretamente afetado pelo regime das marés formando um estreito e alongado estuário, que inclui 210 hectares de manguezais (DUAVÍ *et al.*, 2015). A Sabiaguaba é uma área que comporta um complexo ecossistema conciliado com uma faixa de praia, uma série de dunas, uma zona de inundação estacional, lagoas interdunares e vegetação de manguezal (SOUZA, 2009). O presente trabalho visa analisar a influência do regime de maré nos parâmetros físico-químicos das águas do rio Cocó na região da Sabiaguaba.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O ponto de coleta de dados foi determinado considerando a área que sofre influência direta do regime de maré e determinado através geoprocessamento. A coleta foi realizada em função da maré minguante, iniciando às 08:30 do dia 8 de outubro de 2020. As medidas foram realizadas a cada 30 minutos, compondo um conjunto de 8 medidas para cada parâmetro avaliado. Os parâmetros foram mensurados através da

utilização da sonda multiparamétrica Aqual Troll 400 da empresa *In-Situ*. Foram avaliados pH, salinidade, temperatura e condutividade.

**Figura 1 - Ponto de coleta na imagem A e a condição de maré na ilustração B**



Fonte: A, adaptado do Google earth e B, adaptado de <https://tabuademares.com/br/ceara/fortaleza>.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A dinâmica dos estuários sofre oscilações em função dos efeitos da maré, onde as correntes marítimas se sobrepõem aos movimentos gerados pela descarga fluvial e pelo componente baroclínico da força de gradiente e de pressão (LIMA *et al.*, 2014).

No presente estudo, no decorrer do tempo de análise, observou-se mudanças significativas na condutividade, temperatura e salinidade da água, conforme pode ser observado na Tabela 1.



**Tabela 1 – Valores registrados, em função da altura da maré, para os parâmetros avaliados**

Time	maré (m)	Temperatura (°C)	pH	Salinidade (psu)	Condutividade (µS/cm)
08:30	1,3	MIN 27,6	MIN 7,0	37,3	58086,8
09:00	1,3	27,7	7,1	MAX 37,4	58261,3
09:30	MAX 1,3	27,8	7,2	37,4	58327,8
10:00	1,3	28,2	7,2	37,4	MAX 59699,4
10:30	1,2	28,5	MAX 7,2	37,2	58843,7
11:00	1,1	28,9	7,2	34,2	54950,7
11:30	1,2	29,4	7,2	26,3	43865,4
12:00	MIN 1,0	MAX 29,6	7,1	MIN 20,3	MIN 34885,1
<b>Média</b>	-	<b>28,5</b>	<b>7,2</b>	<b>33,5</b>	<b>53356,0</b>
<b>Mediana</b>	-	<b>28,3</b>	<b>7,2</b>	<b>37,3</b>	<b>58174,1</b>
<b>Desvio Padrão</b>	-	<b>0,8</b>	<b>0,1</b>	-	-

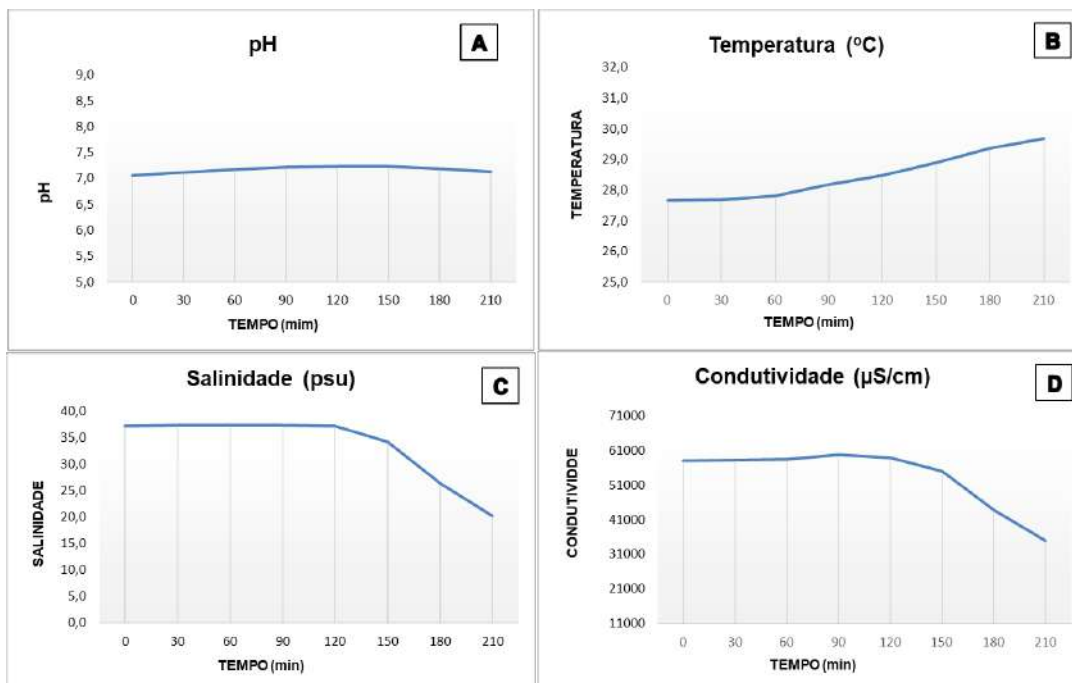
Fonte: Elaborado pelos autores.

A partir da análise dos dados é possível observar que a salinidade se manteve acima de 37,00psu por período superior a 120 minutos, registrando pequena oscilação de 0,16 psu no intervalo descrito (Figura 2, Gráfico C). Os dados relacionados estão condizentes com os registros de literatura, Romão *et al.* (2019), registraram na região e sob condição de maré cheia, salinidade variando de 20,30 a 37,41 psu.

A condutividade oscilou na mesma proporção da salinidade. No ponto de avaliação os valores de condutividade variaram de 34,89<sup>3</sup> µS/cm a 59,70<sup>3</sup> µS/cm, sendo esse último o valor máximo registrado. Observar Figura 1, Gráfico C. O pH não sofreu alteração significativa devido à pequena alteração no fluxo de água doce/salgada na região avaliada no decorrer do período de análise. Observar Figura 2 e Gráfico A.

No decorrer das análises a temperatura subiu 2,00 °C, passando de 27,67 °C no início dos registros a 29,67 °C ao final do período. A variação de temperatura está associada a diversos fatores, tais como: forte turbulência gerada pela ação da correnteza do rio em choque com a maré, elevada incidência de sol na região avaliada, bem como pouca profundidade da água, permitindo troca efetiva de calor com o ar. O aumento gradativo da temperatura pode ser observado na Figura 2, Gráfico B.

**Figura 2 - Gráficos dos parâmetros avaliados de acordo com a variação da maré**



Fonte: Elaborado pelos autores.

#### 4 CONCLUSÕES

Embora os registros da tábua de maré indiquem que no início da coleta (08h30min h) a maré inicia tendência à vazante, os dados de salinidade e condutividade obtidos no presente trabalho de mostraram que após duas horas de coleta, no ponto avaliado, a maré do mar continua vencendo a maré do rio indicando que ocorre pelo menos 1 hora de atraso na baixa-mar com relação à tábua de maré do Porto do Mucuripe. Os dados de salinidade registrados também sugerem que a área da presente pesquisa pode ser classificada como Zona Costeira (ZC), uma vez que a salinidade se aproxima a encontrada no mar.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Secretaria da Ciência, Tecnologia e Educação Superior (SECITECE), Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI-NE), Instituto de Tecnologia da Informação

e Comunicação (ITIC), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações (MCTIC), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP).

## 6 REFERÊNCIAS

BARBOSA, B. C.; AMARAL JUNIOR, F. W.; SILVA, L. S.; PESSOA, K. R.; MARINHO, G. M. Avaliação da qualidade da água de um trecho do rio cocó sob possível influência do lixão desativado do jangurussu Fortaleza/CE. **Conexões Ciências e Tecnologia**, v. 6, n. 3, p. 26-40, 2012.

DUAVÍA, W. C.; GAMAA, A. F.; MORAISA, P. C. V.; OLIVEIRA, A. H. B. de; NASCIMENTO, R. F. do; CAVALCANTE, R. M. Contaminação de ambientes aquáticos por “agrotóxicos urbanos”: o caso dos rios Cocó e Ceará, Fortaleza – Ceará, Brasil. **Química Nova**, v. 38, n. 5, p. 622-630, 2015.

LIMA, M. W.; ALVES, M. A. M. da S.; SANTOS, M. de L. S.; RIBEIRO, M. A.; SANTOS, E. T.; NUNES, D. M. Influência do Ciclo de Maré na Variação dos Parâmetros Físico-Químicos no Estuário do Rio Curuçá, Nordeste Paraense. **Boletim Técnico Científico do CEPNOR**, v. 14, n. 1, p. 9–15, 2014.

MILLER, G.; BERNARDES., M. E. C. Análise de dados físico-químicos no estuário do rio Itamambuca em Ubatuba – SP. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE OCEANOGRAFIA, 6., 2014, Itajaí. **Anais [...]** Itajaí: AOCEANO, 2014. p. 1189-1190.

ROMÃO, A. L. E.; FILHO, A. P.; ABREU, F. O. M. da S.; SOUSA, E. A. O. de. Avaliação da influencia da maré sobre os parâmetros físico-químicos da água do rio Cocó na região da Sabiaguaba (Fortaleza-CE). *In*: CONGRESSO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 16., Poços de Caldas. **Anais [...]** Poços de Caldas: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia, 2019. v. 1, n. 1, p. 1-17.

SOUZA, Lílian Sorele Ferreira. **Análise geoambiental das unidades de conservação de Sabiaguaba (Fortaleza – CE)** 2009. 132 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

## COMPETITIVE ADSORPTION OF CR(III) AND CR(VI) BY SUGARCANE BAGASSE MAGNETIC NANOCOMPOSITE IN WATER MATRIX: A PH STUDY

Gabriela Z. Beretta\*<sup>1</sup>, Thais E. Abilio<sup>1</sup>, Leticia Gabriel<sup>1</sup>, Geórgia Labuto<sup>2</sup>, Elma N. V.  
M. Carrilho<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Polymeric Materials and Biosorbent, Federal University of São Carlos, \*e-mail: gabriela.beretta@estudante.ufscar.br.

<sup>2</sup>Department of Natural Science, Mathematics and Education, Federal University of São Carlos.

<sup>3</sup>Chemistry Department, Federal University of São Paulo.

**RESUMO:** O processo de biossorção consiste em utilizar materiais biológicos na retenção, remoção ou recuperação de substâncias potencialmente tóxicos em matrizes aquosas. A remoção de íons metálicos em ambientes aquáticos é um desafio, e um dos íons tóxicos que se tem interesse em remover da matriz aquosa é Cr(VI). Este trabalho propõe utilizar como biossorvente o bagaço de cana-de-açúcar, um resíduo agroindustrial, de forma *in natura* (SB) e modificado (SB-NP) com nanopartículas ferromagnéticas (NP). O potencial de descontaminação de águas por estes materiais é avaliado em processo por batelada, estudando-se a capacidade de sorção dos íons Cr(III) e Cr(VI) de forma monoelementar e competitiva, por FAAS e UV-Vis. Constatou-se que a melhor sorção de Cr(VI) foi encontrada em pH 1 tanto para SB como para SB-NP, para a sorção de Cr(III) o valor ideal encontrado foi de pH 6 em ambos os biossorventes e para Cr(III) e Cr(VI) em pH 4 tanto para SB como para SB-NP.

**Palavras-chave:** Biossorvente. Nanomodificação. Descontaminação de água.

**ABSTRACT:** The biosorption process consists of using biological materials for the retention, removal or recovery of potentially toxic substances in aqueous matrices. One of the toxic metal ion that is important to be removed from the aqueous matrix is Cr(VI). This work proposes to use sugarcane bagasse, an agroindustrial residue, as biosorbent,

*in natura* (SB) and modified (SB-NP) with ferromagnetic nanoparticles ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) (NP). In order to evaluate the decontamination capacity of this biomass and ferromagnetic nanocomposite, sorption studies were carried out in batch procedures to assess monoelement [(Cr(III) or Cr(VI))] and competitive [(Cr(III) + Cr(VI))] sorptions by these materials. Chromium was determined by FAAS and UV-Vis. It was found that the best Cr(VI) sorption was found at pH 1 for both SB and SB-NP, for Cr (III) sorption the ideal value found was pH 6 in both biosorbents and for Cr(III) and Cr(VI) at pH 3 for SB and SB-NP.

**Keywords:** Biosorbent. Nanomodification. Water decontamination.

## 1 INTRODUCTION

The use of biomasses as biosorbents becomes advantageous due to their abundance, high sorption capacity for cationic and anionic species, and low cost (LABUTO; CARRILHO, 2016). The process named biosorption is defined as the removal of species, compounds, and metallic particles from a solution by biological materials, the biosorbents. A good adsorbent is one that has a large number of active sites available for interaction with substances under analysis. The sites are places where adsorption takes place and are formed by one or more functional chemical groups (MOREIRA, 2010). The performance in the sorption of a metal ion by the biosorbent involve parameters such as the presence of competing ions, the adsorbent nature and surface area, temperature, pH, and the ion concentration.

Sugarcane bagasse (SB) is a fibrous residue formed by several components, including cellulose, hemicelluloses, and lignin. This material is formed by functional groups such as carboxylic acids, alcohols, among others, and exhibit great affinity for metal ions (SARKER *et al.*, 2017; CARVALHO *et al.*, 2020). Besides, SB is produced in large quantities as a waste, thus having a low cost.

Chromium is a transition metal with several oxidation states, and Cr(III) and Cr(VI) are the most abundant and stable. In trivalent form, it is not toxic, being essential for human metabolism, while Cr(VI) is toxic and carcinogenic. However, Cr(VI) is easily

reduced to Cr(III) by reducing agents or organic compounds (PINA, 2011). Due to its toxicity, chromium redox speciation has become important, with more adequate environmental monitoring than when compared to the total Cr.

## 2 MATERIAL AND METHODS

### 2.1 Preparation of biomass (SB) and synthesis of nanomodified sugarcane bagasse (SB-NP)

Sugarcane bagasse (SB) biomass was rinsed with distilled and deionized water to remove impurities, and oven-dried at 50 °C. For the synthesis of magnetic nanoparticles, the coprecipitation method was used. It consists of using FeCl<sub>2</sub> and FeCl<sub>3</sub> aqueous solutions. After the nanoparticles formation, the biomass is added to this suspension, under heating at 80 °C and constant stirring until the formation of the magnetic bionanocomposite (ESTEVEZ *et al.*, 2004).

### 2.2 Determination of pH at the point of zero charge and sorption pH assessment

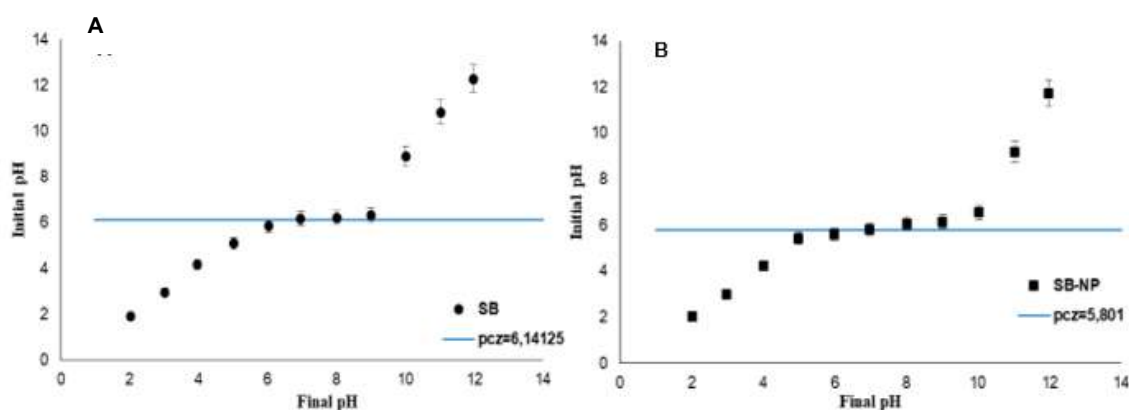
The pH at the point of zero charge (pH<sub>PZC</sub>) and the sorption pH tests were carried out. In the pH<sub>PZC</sub> test, a NaCl solution was used at initial pH values ranging from 2-12, adjusted with HCl or NaOH, and 100 mg of SB or SB-NP were added to this solution, under agitation. The pH value corresponding to the pH<sub>PZC</sub> was determined by the graphical representation of the initial pH variation as a function of the final pH. After determining the pH<sub>PZC</sub>, the best pH range for sorption was assessed. The tests were done in triplicate.

For the pH test, 100 mg of *in natura* or nanomodified SB were mixed with 10 mL of a 100 mg/L Cr(III) and Cr(VI) (pH were previously adjusted) and the mixture was kept under constant agitation at 185 rpm for 10 min. The supernatants were then analyzed by FAAS to determine the total Cr, and by UV-Vis to determine Cr(VI) after reaction with diphenylcarbazide (DPC) for a purple complex formation which absorbs at 540 nm. The tests were done in duplicate.

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

The  $pH_{PZC}$  for SB and SB-NP was 6.1 and 5.8, respectively (ABILIO *et al.*, 2019). Below these pH values the surface of the biosorbents has positive charges, which would favor the sorption of Cr(VI). With pH above  $pH_{PZC}$ , the surface of the material is negatively charged and is attracted to positive chromium species. Figure 1 shows the graphs of initial *versus* final pH values used to determine the  $pH_{PZC}$  of SB and SB-NP.

**Figure 1 - Point of zero charge ( $pH_{PZC}$ ) of nanocomposites (A) SB and (B) SB-NP, using 10 mg of the biosorbent with 10 mL of 10 mg / L solution Cr (VI), n = 3**



Fonte: Elaborado pelos autores.

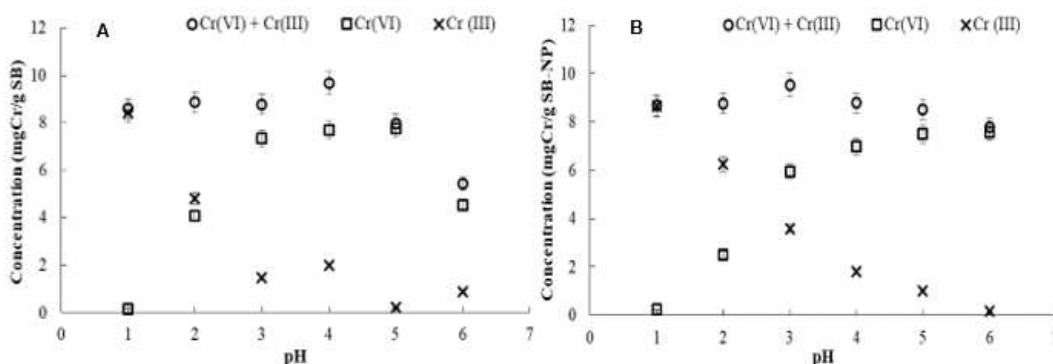
This difference depends on the pH of the solution, the total Cr concentration and the presence of oxidizing and reducing compounds, as there is a competition between hydrogen ions and metal ions to bind to the functional groups of the nanocomposite, by electrostatic attraction between adsorbent and adsorbed. At very low pH values, there is a high concentration of  $H^+$  ions, which neutralizes the negative charge surface of the adsorbent, while in higher pH values, the concentration of  $OH^-$  increases and the total charge on the surface of the adsorbent becomes negative, occurring a repulsion with the negative charge of Cr(VI) species (ALOMÁ *et al.*, 2013). The distribution of Cr(III) and Cr(VI) is strongly dependent on the pH of the solution, the initial concentration of metal ions and the dosage of biosorbent.

The increase in the adsorption of Cr(VI) with the decrease of the pH, follow two

mechanisms to describe the adsorption of Cr(VI) by biosorbents. The first involves the adsorption of Cr(VI), followed by its reduction to Cr(III) due to the oxidation of organic matter, and the second suggests that the oxidation of Cr(III) to Cr(VI) by the biomass is subsequently adsorbed to its surface (YAO *et al.*, 2010). Chromium, in aqueous solution, can form several species, such as  $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ,  $\text{CrO}_4^{2-}$ ,  $\text{H}_2\text{CrO}_4$  and  $\text{HCrO}_4^-$ , which occur by the pH distribution in the solution (GONZALES *et al.*, 2008). The pH values 1 and 6 favored the adsorption of Cr(VI) and Cr(III), respectively.

It may be implied that the nanoparticle itself also performs an efficient chromium sorption due to the sorption sites available on its surface. Therefore, besides the increase in SB sorption capacity, the use of NP is justified by the paramagnetic property attributed to SB, in order to facilitate the removal of the contaminant-containing biosorbent from the medium (PINA, 2011). Total Cr was determined by FAAS, while Cr(VI) reacted with diphenylcarbazide (DPC) for complex formation and determination by UV-Vis. Figure 2 depicts the effect of pH on the sorption of chromium by SB and SB-NP, using 10 mg of the biosorbent with 10 mL solution of 10 mg/L of Cr(III), Cr(VI), and total Cr.

**Figure 2 - Effect of pH on the sorption of chromium by (A) SB and (B) SB-NP, using 10 mg of the biosorbent with 10 mL solution of 10 mg/L of Cr(III), Cr(VI), and total Cr. n = 2**



#### 4 CONCLUSION

According to our findings, the nanomodified sugarcane bagasse showed great



potential for removing Cr(III) and Cr(VI) in aqueous medium. It was observed that the sorption of Cr(VI) by SB and SB-NP improved with pH decrease, with the best value found pH 1.0. As for Cr(III), best sorption capacity was found at pH 6, and for the simultaneous removal of Cr(III) and Cr(VI), the highest sorption efficiency was obtained at pH 4. It was also possible to analyze the oxidation and reduction of Cr(VI) by the action of the biosorbent according to pH, with an adsorption of Cr(VI), followed by a reduction to Cr(III) due to the oxidation of organic matter.

## 5 ACKNOWLEDGEMENTS

The author are grateful to the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (104644/2020-6 and 06271-4/2016) for scholarship provided.

## 6 REFERENCES

ABILIO, T. E.; SOARES, B.C.; LABUTO, G.; CARRILHO, E. N. V. M. Síntese, caracterização e uso do biossorvente bagaço de cana-de-açúcar nanomodificado para sorção de íons metálicos. *In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 26., e Congresso de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação, 11., 2019, Araras. Anais [...]* Araras: Universidade Federal de São Carlos, 2019.

ALOMÁ, I. C.; RODRÍGUEZ, I.; CALEROB, M.; BLÁZQUEZ, G. Biosorption of Cr<sup>6+</sup> from aqueous solution by sugarcane bagasse. **Desalin Water Treat**, v. 52, p. 31–33, 2013.

CARVALHO, J. T.T.; MILANI, P. A.; CONSONI, J. L.; LABUTO, G., CARRILHO, E. N. V. M. Nanomodified sugarcane bagasse biosorbent: sythesis, characterization, and application for Cu(II) removal from aqueous medium. **Environmental Science and Pollution Research**. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11345-3>

ESTEVES, A. C. C.; BARROS-TIMMONS, A.; TRINDADE, T. Nanocompósitos de matriz polimérica: estratégias de síntese de materiais híbridos. **Química Nova**, v. 27, n. 5, p. 798-806, 2004.

GONZALEZ, M. H.; ARAÚJO, G. C. L.; PELIZARO, C. B.; MENEZES, E. A.; LEMOS, S. G.; DE SOUSA, G. B.; NOGUEIRA, A. R. A. Coconut coir as biosorbent for Cr(VI) removal from laboratory wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, v.159, n. 2, p. 252–256, 2008.

LABUTO, G.; CARRILHO, E. N. V. M. Bioremediation in Brazil: challenges to improve the development and application to boost up the bioeconomy. *In: PRASAD, M. N. V. Bioremediation and Bioeconomy*. Oxford: Elsevier, 2016. Section 7: Chapter 22, p.

569-586.

MOREIRA, Danna Rodrigues. **Desenvolvimento de Adsorventes Naturais para Tratamento de Efluentes de Galvanoplastia**. 2010. 79 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

PINA, Frederico Duarte de Sousa. **Tratamento de águas contaminadas com Crómio(VI) por biossorção em algas marinhas**. 2011. 65 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia do Ambiente) - Universidade do Porto, Porto, 2011.

SARKER, T. C.; AZAM, S. M. G. G.; EL-GAWAD, A. M. A.; GAGLIONE, S. A.; BONANOMI, G. Sargacane bagasse: a potential low-cost biosorbent for the removal of hazardous materials. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 19, n. 10, p. 2343-2362, 2017.

YAO, Q.; ZHANG, H.; WU, J.; SHAO, L.; HE, P. Biosorption of Cr(III) from aqueous solution by freeze-dried activated sludge: Equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. **Frontiers of Environmental Science and Engineering in China**, v. 4, n. 3, p. 286–294, 2010.



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS NATURAIS

## ELEMENT CONTENTS IN THE LOWER SÃO FRANCISCO RIVER ASSESSED BY INDUCTIVELY COUPLED PLASMA OPTICAL EMISSION SPECTROMETRY (ICP OES) ANALYSIS

Ana L. E. Romão\*<sup>1</sup>, Elma N. V. M. Carrilho<sup>2</sup>, Joana de B. Alexandre<sup>1</sup> Carlucio R.  
Alves<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciência Naturais, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, \*e-mail: ana.eufrazio@aluno.uece.br.

<sup>2</sup>Departamento de Ciências da Natureza, Matemática e Educação São Carlos, Universidade Federal de São Carlos.

**RESUMO:** A bacia do rio São Francisco, também conhecida como Velho Chico, tem uma extensão de mais de 640 mil km<sup>2</sup> e percorre 2.700 km de Minas Gerais até chegar à foz no Oceano Atlântico, na divisa dos estados de Alagoas e Sergipe. Os corpos d'água ou nascentes são classificados em classes de acordo com os usos a que se destinam, de acordo com os requisitos estabelecidos. No presente trabalho, o objetivo foi traçar o perfil dos teores de Ag, B, Ca, Cu, Fe, K, Mn e Mg, presentes no rio São Francisco, por meio de espectrometria de emissão óptica com plasma indutivamente acoplado (ICP OES). Assim, propomos avaliar a qualidade da água do rio São Francisco com base em seus conteúdos de micro e macroelementos. De acordo com os achados, a potabilidade da água do rio é avaliada com base nas políticas do Ministério da Saúde do Brasil. Pelos dados obtidos, as concentrações desses elementos estão abaixo dos limites máximos de tolerância e, portanto, essas águas atendem aos padrões de potabilidade nas condições testadas.

**Palavras-chave:** São Francisco. Qualidade da água. Potabilidade.

**ABSTRACT:** The São Francisco river basin, also known as Velho Chico, exhibits an extension of over 640,000 km<sup>2</sup>, and runs 2,700 km from Minas Gerais to reach its mouth in the Atlantic Ocean, on the Alagoas and Sergipe states coast border. Water bodies or

springs are classified into classes according to the uses to which they are destined, concerning the established requirements. In the present work, the objective was to trace the profile of Ag, B, Ca, Cu, Fe, K, Mn and Mg contents, present in the São Francisco river using inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP OES). Hence, we propose to assess the water quality of the São Francisco River based on its micro and macro elements contents. According to the findings, the river water potability is assessed based on the Brazilian Ministry of Health policies. By the obtained data, the concentration of these elements are below the maximum tolerance limits and, therefore, these waters meet the potability standards under the conditions tested.

**Keywords:** São Francisco. Water quality. Potability.

## 1 INTRODUCTION

The São Francisco river spring has 1.6 km of altitude, in the Serra da Canastra, in Minas Gerais state. The São Francisco river basin, also know as Velho Chico, exhibits an extension of over 640,000 km<sup>2</sup>, and runs 2,700 km from Minas Gerais to reach its mouth in the Atlantic Ocean, on the Alagoas and Sergipe states coast borders. This river is found along the route of six states, Minas Gerais, Bahia, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, and Goiás, besides the Federal District, Brasília. The lower São Francisco arises in the city of Paulo Afonso (BA) towards its mouth (ARAÚJO; PEREIRA DE SÁ, 2008).

The quality and uses of waters are regulated by The National Environment Council (CONAMA) under the Resolution No. 357, of March 17, 2005 (and modifications of resolutions 410 of 2009 and 430 of 2011), which provides for the classification of water bodies and the environmental guidelines for their categorization. The purpose of this legislation is to regulate and inspect the exploitation of qualified water bodies in order to maintain their quality, in accordance with social needs and the benefit of the users. The present work aimed to trace the profile of Ag, B, Ca, Cu, Fe, K, Mn and Mg contents, present in the lower São Francisco river assessed by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP OES).

## 2 MATERIAL AND METHODS

Water sample collection: The water sample collecting points were determined by geoprocessing and are indicated by two initials letters regarding the name of the city that holds the portion of the river where sample collection took place. Besides, the initials are followed by numbers: 1 for the riverbank adjacent to the state of Sergipe; 2 for the middle of the river; and 3 that indicates the riverbank belonging to the state of Alagoas.

Element determination by ICP OES: Element concentration in the water samples was determined by ICP OES (CARRILHO *et al.*, 2002) and the operational parameters of the spectrometer is presented in the Table 1. The choice of the analytes spectral lines was based on both their sensitivity and spectral interference. Blank solutions (15 replicates) were analyzed to determine the limits of detection (LOD) and quantification (LOQ) of each element (SHRIVASTAVA; GUPTA, 2011).

**Table 1 - Operational parameters of the ICP OES**

Power	1.10 kW
Plasma Gas Flow	15.0 L min <sup>-1</sup>
Gas flow auxiliary	1.5 L min <sup>-1</sup>
Flow nebulizer	0.65 L min <sup>-1</sup>
Sampling rate of	1 mL min <sup>-1</sup>
Wavelength (nm)	
Ag	338.289
B	249.772
Ca	422.673
Cu	327.395
Fe	238.204
K	766.491
Mg	280.270

In this study, the presence of the elements silver, boron, calcium, copper, iron, potassium, magnesium and manganese was evaluated.

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

In this work, for the purpose of analysis, we will evaluate the water quality of the lower São Francisco river to observe its adequacy to the water potability policies from the Ministry of Health under the Decree No. 05 of September 28, 2017 (Chapter II, item III: "Potability standard: set of values allowed as a parameter of water quality for human consumption"). It is established the maximum limits of 200 mg/L for Calcium, 2.00 mg/L for Cu, 10.00 mg/L for Fe and 0.1 mg/L for Mn (BRASIL, 2017). Besides, for the elements adopted and not regulated by the Ministry of Health, the water quality standards of water bodies are taken, in accordance with the guidelines of CONAMA Resolution N°. 357, observing as maximum limits for Ag 0, 1 mg/L and for B 5.0 mg/L (CONAMA, 2005).

**Table 2 - Concentration (mg/L) of elements determined by ICP OES, in the water samples collected at different points of the lower São Francisco river**

COUNTY	POINT	MICROELEMENTOS (mg/L)				MACROELEMENTS (mg/L)		
		B	Fe	Cu	Mn	Ca	K	Mg
FOZ	FOZ1	37.799	0.2711	> 0.0032	0.04	377.2	432.6	473.2
	FOZ2	37.162	0.1714	> 0.0032	0.0025	371.5	447.1	471.9
	FOZ3	37.589	0.1273	> 0.0032	0.0019	375.30	418	473.9
PIAÇABUÇU	PU1	> 0.0066	0.2201	> 0.0032	0.0071	8.197	3.013	2.262
	PU2	0.4259	0.2767	> 0.0032	0.0071	45.72	56.77	125.7
	PU3	> 0.0066	0.1852	> 0.0032	0.0065	7.821	2.875	2.389
PENEDO	PE1	> 0.0066	0.1231	> 0.0032	0.0052	7.818	2.633	2.196
	PE2	> 0.0066	0.1978	> 0.0032	0.0068	8.059	2.611	2.169
	PE3	> 0.0066	0.108	> 0.0032	0.0057	7.753	2.115	2.114
IGREJA NOVA	IN1	> 0.0066	0.6807	> 0.0032	0.0098	8.474	3.085	2.276
	IN2	> 0.0066	0.4463	> 0.0032	0.007	8.998	2.709	3.138
	IN3	> 0.0066	0.2444	> 0.0032	0.0156	7.565	2.432	2.23
PROPRIÁ	PR1	> 0.0066	0.1797	> 0.0032	0.0054	8.009	2.212	2.211
	PR2	> 0.0066	0.2236	> 0.0032	0.006	8.598	2.689	3.576
	PR3	> 0.0066	0.2331	> 0.0032	0.006	8.114	2.207	2.174
TRAIPU	TR1	0.0244	0.1284	> 0.0032	0.0043	8.154	2.324	21.504
	TR2	> 0.0066	0.1025	> 0.0032	0.0037	8.104	1.998	2.101
	TR3	> 0.0066	0.1572	> 0.0032	0.0044	8.357	2.236	2.239
BELO MONTE	BM1	> 0.0066	0.2226	> 0.0032	0.0062	8.139	2.519	2.123
	BM2	> 0.0066	0.2812	> 0.0032	0.0062	8.225	2.817	2.155
	BM3	< 0.0066	0.1388	> 0.0032	0.0042	7.947	2.138	2.12

<b>PÃO DE AÇÚCAR</b>	<b>PA1</b>	< 0.0066	0.1183	> 0.0032	0.0043	8.059	2.147	2.245
	<b>PA2</b>	> 0.0066	0.1394	>0.0032	0.0036	8.043	2.275	2.212
	<b>PA3</b>	< 0.0066	0.1004	>0.0032	0.0045	7.788	2.158	2.031
<b>PIRANHAS</b>	<b>PI1</b>	> 0.0066	0.0237	> 0.0032	0.0011	7.94	2.008	2.025
	<b>PI2</b>	> 0.0066	0.0278	> 0.0032	> 0.0002	7.878	2.034	2.071
	<b>P13</b>	> 0.0066	0.0865	> 0.0032	0.0013	8.107	2.754	2.06

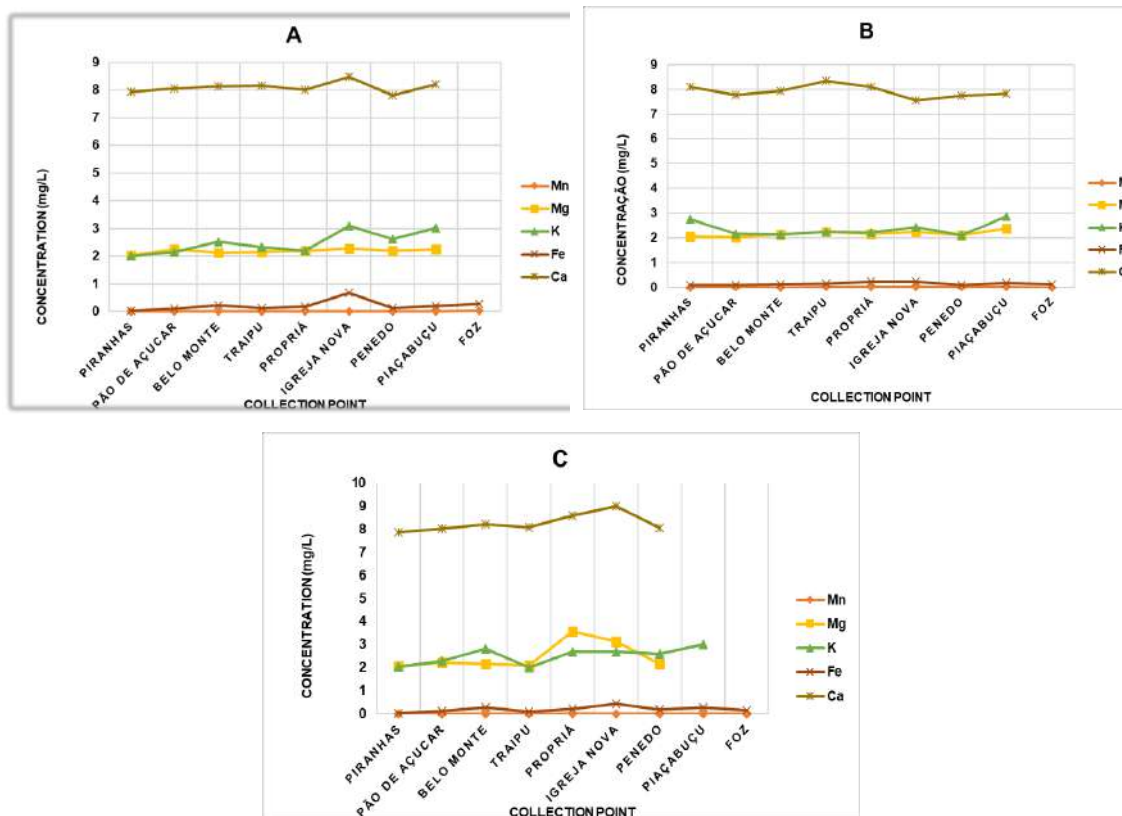
**Subtitle:** <, below the limits of detection (LOD) of the method; > and <, above the limits of detection and below the limits of quantification (LOQ) of the method.

The analysis showed that the concentration of Ag for all collecting points was below the limits of detection (LOD) of the method (0.0490 mg/L) and, also below the maximum limits of Resolution 357 (CONAMA, 2005).

By observing the results in Table 2, it appears that the concentration of all the elements evaluated is below the harmful limits determined by the MS. The low concentration of some of the evaluated elements, below the detection limit of the equipment used, may be associated with the absence of anthropic input of these contaminants along the course of the river or due to the high volume of water discharged in the region due to the increase in the flow of the water rio during the collection period (CHESF, 2019).

As can be seen in the graphs of Figure 1, the profile of concentration of the elements along the course of the river, between the right and left banks, slightly varies, indicating that the origin of the evaluated elements may be endogenous. However, due to the high concentrations of Mn, Mg, K, Ca, and B in the mouth region, the microelement Ag was excluded from the graphical analysis. The presence of these elements in the waters is justified because the mouth is a mixing zone and present high salts contents.

**Figure 1 - Element profile along the lower São Francisco river. Points of water samples collection are (A) Sergipe, (B) Alagoas, and (C) Middle of the river**



#### 4 CONCLUSIONS

According to the results of element content in the water samples collected, it can be inferred that there is a constant profile along the river between the margin at Sergipe and Alagoas states, as well as in the middle portion of the river. The concentrations of all investigated elements are below the maximum tolerance limit determined by the Ministry of Health and, therefore, the waters in the assessed regions meet the potability requirements under the conditions tested.

#### 5 ACKNOWLEDGEMENTS

The authors acknowledge funding from: Secretaria da Ciência, Tecnologia e Educação



Superior (SECITECE), Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer (CTI-NE), Instituto de Tecnologia da Informação e Comunicação (ITIC), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicações (MCTIC), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), Financiadora de Estudos e Projetos (*FINEP*).

## 6 REFERENCES

ARAÚJO, J. S.; PEREIRA DE SÁ, F. Sustentabilidade da piscicultura no baixo São Francisco Alagoano: Condicionantes socioeconômicos. **Ambiente e Sociedade**, v. 11, n. 2, p. 405–424, 2008.

BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE; Portaria de Consolidação nº 5 de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 190, 03 out. 2017. Seção 1, p. 61.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA, Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 53, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 68-69.

CHESF – COMPANHIA HIDRELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO. **Chesf aumenta vazão no Rio São Francisco em Xingó**. Página modificada em 24 out. 2019. Disponível em: <https://www.sertaonahora.com.br/noticia/26286/chesf-aumenta-vazao-no-rio-sao-francisco-em-xingo.html>. Acesso em: 12 nov. 2019.

CARRILHO, E. N. V. M.; GONZALEZ, M. H.; NOGUEIRA, A. R.; CRUZ, G. M.; NÓBREGA, J. A. Microwave-assisted Acid decomposition of animal- and plant-derived samples for element analysis. **Journal of Agricultural and food chemistry**, v. 50, n. 15, p. 4164-4168, 2002.

SHRIVASTAVA, A.; GUPTA, V. V. Methods for the determination of limit of detection and limit of quantitation of the analytical methods. **Chronicles of Young Scientists**, v. 2, n. 1, p. 21-25, 2011.

## ESTUDO DE ISOTERMA DE ADSORÇÃO EMPREGANDO A FOLHA DO BAMBURRAL PARA A REDUÇÃO DE DUREZA NA ÁGUA

Jaíne A. da Silva<sup>\*1</sup>, Darley S. dos Santos<sup>1</sup>, Talita G. Cavalcante<sup>1</sup>, Francisco I. L.  
Rodrigues<sup>1</sup>, Luisa C. Melo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Ceará, Centro de Educação, Ciências e Tecnologia da Região dos Inhamuns, \*e-mail: jaine.almeida@aluno.uece.br.

**RESUMO:** A adsorção consiste em uma operação de transferência de massa que ocorre devido à acumulação de substâncias presentes em solução sobre a superfície externa de um sólido. O uso de adsorventes gerados a partir de biomassa tem se apresentado uma alternativa promissora na remoção de metais, sobretudo em relação à preocupação com as questões ambientais. Este trabalho teve como finalidade verificar a eficiência das folhas do bamburral (*Hyptis suaveolens* (L.) Poit), para a remoção de íons cálcio presentes em amostras de águas duras, em estudos de isotermas. Foram utilizados os modelos na forma não-linear de Langmuir, Freundlich e Temkin. O processo de adsorção apresentou capacidade máxima ( $q_{max}$ ) igual a 36,42 mg g<sup>-1</sup>. O processo é exotérmico com baixa entalpia (-0,34 kJ mol<sup>-1</sup>), de natureza física, com formação de monocamadas. Tais resultados mostraram-se superiores aos reportados na literatura, indicando que o bamburral pode ser utilizado com sucesso para abrandamento da dureza da água.

**Palavras-chave:** Bamburral. Cálcio. Adsorção.

**ABSTRACT:** Adsorption consists of a mass transfer operation that occurs due to the accumulation of substances present in solution on the outer surface of a solid. The use of adsorbents generated from biomass has been shown to be a promising alternative in the removal of metals, especially in relation to the concern with environmental issues. This work aimed to verify the efficiency of bamburral leaves (*Hyptis suaveolens* (L.) Poit), for the removal of calcium ions present in hard water samples, in isotherm studies. Models in the nonlinear form of Langmuir, Freundlich and Temkin were used. The adsorption

process showed a maximum capacity ( $q_{max}$ ) equal to  $36.42 \text{ mg g}^{-1}$ . The process is exothermic with low enthalpy ( $-0.34 \text{ kJ mol}^{-1}$ ), a physical nature, and formation of monolayers. Such results proved to be superior to those reported in the literature, indicating that bamburral can be successfully used to soften water hardness.

**Keywords:** Bamburral. Calcium. Adsorption.

## 1 INTRODUÇÃO

No Nordeste brasileiro, uma região semiárida marcada por seus períodos de estiagem e escassez de água, as águas subterrâneas são uma alternativa eficiente de abastecimento para a população dessa região. Todavia, um dos fatores que interferem na qualidade destas águas é a dureza, devido à presença de excesso de íons cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), associado aos íons hidrogenocarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), que reagem produzindo carbonato de cálcio (pouco solúvel). O Ministério da Saúde (MS), por meio da Portaria 2914, anexo X, estabelece parâmetros ideais de potabilidade da água para abastecimento populacional, dentre eles, a dureza, e de acordo com essa Portaria, o valor máximo permitido (VMP) para dureza é de  $500 \text{ mg/L}$  em carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

As águas duras têm sabor salino e são rejeitadas pelo paladar humano. Para a redução dessa salinidade, a adsorção por biomassa pode ser uma alternativa promissora e efetiva, e, ainda é uma operação de baixo custo. A adsorção consiste na transferência de massa, no qual se estuda a habilidade de certos sólidos em concentrar na sua superfície, determinadas substâncias existentes em fluídos, líquidos ou gás, possibilitando a separação dos componentes desses fluídos (SANTOS, 2019). O presente estudo apresentou como finalidade, investigar a eficiência das folhas do bamburral (*Hyptis suaveolens* (L.) Poit.), uma espécie endêmica da Caatinga, para a remoção de íons de  $\text{Ca}^{2+}$  presentes em amostra de água dopada com íons  $\text{Ca}^{2+}$ .

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O material adsorvente foi coletado na zona rural do município de Arneiroz-CE, e depois, seguiu-se uma sequência de etapas para o tratamento. Inicialmente, as folhas da planta foram lavadas com água destilada e posteriormente secas em estufa (STERILIFE®) a 60 °C por 24 h, para atingirem a condição ideal de trituração. Para isso, foi utilizado um liquidificador de uso doméstico, disponível unicamente para esse fim. Após este procedimento, as folhas foram peneiradas e separadas na fração de 150 mesh, obtendo-se um pó de granulometria uniforme.

Todos os experimentos foram realizados utilizando-se uma amostra artificial de íons  $\text{Ca}^{2+}$  obtida a partir de uma solução estoque de  $\text{Ca}^{2+}$  700 mg L<sup>-1</sup>.

O estudo de equilíbrio de adsorção em batelada, foi realizado sobre agitador orbital modelo SCIOLOGEX SCI-0330®. Os experimentos foram realizados com 50 mg da biomassa de bamburral em contato com 25 mL da solução de  $\text{Ca}^{2+}$ . Nos ensaios, a concentração de  $\text{Ca}^{2+}$  variou de 50 a 500 mg L<sup>-1</sup>.

Todos os experimentos foram executados nas mesmas condições: 150 rpm; solução tampão pH 10 a 25 °C; por 2 horas. Após esse tempo, as soluções foram submetidas a um sistema de filtração simples e a concentração de íons metálicos presentes foi determinada por titulação complexiométrica utilizando uma solução de EDTA 3,0 mmol L<sup>-1</sup>, previamente padronizada. As medidas foram realizadas em triplicatas. A metodologia utilizada foi baseada na de Silva *et al.* (2020).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

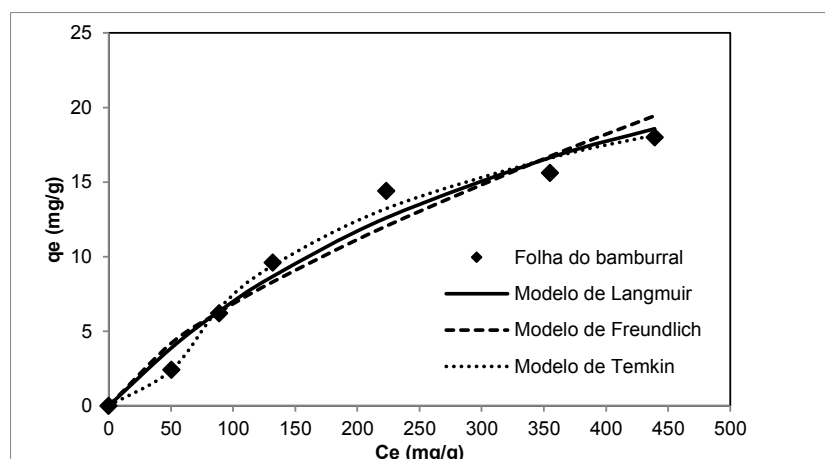
Um modo prático e usual de mensurar a adsorção é por meio da plotagem de Gráficos de isotermas de adsorção (SANTOS, 2019). Para estabelecer a quantidade de íons  $\text{Ca}^{2+}$  transferidos para a superfície do adsorvente, foram realizadas titulações de complexação com a solução padrão de EDTA 3,0 mmol L<sup>-1</sup>, considerando duas etapas: inicialmente, quando havia apenas íons  $\text{Ca}^{2+}$  em solução, para confirmar a concentração inicial ( $C_0$ ), e, após a adição das folhas de bamburral, sob agitação por 2 horas a 150 rpm, obtendo-se assim, a concentração de adsorvato no equilíbrio ( $C_e$ ) (SILVA *et al.*, 2020). Os valores para a capacidade máxima de adsorção no equilíbrio ( $q_e$ ) foram calculados usando-se a equação (1):

$$q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{M} \quad (1)$$

Onde:  $q_e$  ( $\text{mg g}^{-1}$ ) é a capacidade de adsorção no equilíbrio,  $V$  é o volume da solução (L),  $M$  é a massa do adsorvente (g),  $C_o$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ) é a concentração inicial do adsorvato e  $C_e$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ) a concentração do adsorvato no equilíbrio.

A Figura 1 apresenta os resultados experimentais sobrepostos aos modelos de Langmuir, Freundlich e Temkin para a isoterma de adsorção de  $\text{Ca}^{2+}$  empregando as folhas de bamburral como adsorvente.

**Figura 1 – Dados experimentais e regressão não-linear dos modelos de Langmuir, Freundlich e Temkin empregando bamburral no intervalo de  $50 \text{ mgL}^{-1} \leq \text{Ca}^{2+} \leq 500 \text{ mgL}^{-1}$**



Nota-se que a curva para o equilíbrio de adsorção experimental apresentada na Figura 1 cresce abruptamente em concentrações mais baixas de  $\text{Ca}^{2+}$  e se aproxima de um ponto de equilíbrio em concentrações mais elevadas ( $q_e = 18 \text{ mg g}^{-1}$ ), apresenta um comportamento favorável, indicando que o adsorvente selecionado apresentou um excelente desempenho, e que quanto maior a concentração inicial do metal, maior a capacidade de adsorção no equilíbrio ( $q_e$ ).

A eficiência da espécie adsorvente é indicada pelo valor numérico de  $q_{\text{máx}}$ , que indica a quantidade de adsorvato capturado da solução aquosa por unidade de adsorvente, favorecendo ou não o equilíbrio de adsorção. O  $q_{\text{máx}}$  é obtido a partir da isoterma de Langmuir, expresso na forma não-linear, como apresentada na Equação 2.

$$q = \frac{q_{\text{máx}} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (2)$$

Onde:  $q_{\text{máx}}$  ( $\text{mg g}^{-1}$ ) é a capacidade máxima de adsorção de monocamada e  $K_L$  ( $\text{L mg}^{-1}$ ) a constante de Langmuir relacionada ao calor de adsorção e  $C_e$  ( $\text{mg L}^{-1}$ ) a concentração do adsorvato no equilíbrio.

Na Tabela 1 é possível observar os valores encontrados para os parâmetros de Langmuir, Freundlich e Temkin.

**Tabela 1 - Valores dos parâmetros dos modelos de isotermas para o adsorvente**

Material adsorvente		Modelo de Langmuir		
	$q_{\text{máx}}$ ( $\text{mg g}^{-1}$ )	$K_L$ ( $\text{L mg}^{-1}$ )	$R^2$	$\chi^2$
<b>Bamburral</b>	36,42	$2,37 \times 10^{-3}$	0,992	1
Material adsorvente		Modelo de Freundlich		
	$K_F$ $((\text{mg g}^{-1})(\text{L mg}^{-1})^{-1/n})$	$n$	$R^2$	$\chi^2$
<b>Bamburral</b>	0,62	1,84	0,978	2,37
Material adsorvente		Modelo de Temkin		
	$b_T$ ( $\text{kJ mol}^{-1}$ )	$A_T$ ( $\text{L g}^{-1}$ )	$R^2$	$\chi^2$
<b>Bamburral</b>	0,344	$2,76 \times 10^{-2}$	0,999	0,186

Analisando os dados expostos na Tabela 1 para o valor obtido de  $q_{\text{máx}}$ , observa-se que a alta interação dos íons  $\text{Ca}^{2+}$  com a superfície sólida do material adsorvente, favorece a adsorção em monocamada, isto significa que a atração entre o metal e os sítios ativos do adsorvente foi maior do que a atração intermolecular da solução. Também é possível observar que o erro nos resultados da isoterma foi analisado de acordo com valores atribuídos para  $\chi^2$ , quanto mais próximo de zero, menor o erro. Para o modelo de Langmuir  $\chi^2 = 1$ , constituindo-se um baixo erro, amparado por  $R^2 =$

0,992. Pelos resultados apresentados, o modelo de Freundlich não é adequado para descrever o processo de adsorção empregando o bamburral como adsorvente, por apresentar um valor elevado de  $\chi^2$ . O modelo que melhor se adequa a este processo de adsorção é o de Temkin com  $\chi^2 = 0,186$  com  $R = 0,999$ .

Os valores calculados para os parâmetros de Langmuir empregando a regressão não linear foram de  $36,42 \text{ mg g}^{-1}$  e  $2,37 \times 10^{-3} \text{ L mg}^{-1}$  para a capacidade máxima de adsorção ( $q_{\text{máx}}$ ) e a constante de Langmuir ( $K_L$ ), respectivamente. Ferreira (2015) após submeter a casca do coco ao tratamento alcalino obteve para o modelo de Langmuir:  $q_{\text{máx}} = 19,6 \text{ mg g}^{-1}$  e  $K_L = 3,03 \times 10^{-2} \text{ L mg}^{-1}$  com função de erro  $R^2 = 0,95$ . Mesmo com a modificação do adsorvente com o incremento de grupos funcionais, os valores apresentados empregando a casca do coco modificada foram menores do que o resultado encontrado para a folha de bamburral,  $q_{\text{máx}}$  ( $36,42 \text{ mg g}^{-1}$ ). Para a remoção de cálcio presente na água produzida na exploração e produção do petróleo o carvão babaçu obteve  $q_{\text{máx}}$  de  $19,15 \text{ mg g}^{-1}$  para a capacidade máxima de adsorção (MEDEIROS, 2015). O resultado obtido neste trabalho ultrapassa os valores de outros materiais já estudados como apresentado.

#### 4 CONCLUSÕES

Os valores obtidos para a isoterma experimental ( $q_e$ ) e a capacidade máxima de adsorção ( $q_{\text{máx}}$ ) foram iguais a  $18 \text{ mg g}^{-1}$  e  $36,42 \text{ mg g}^{-1}$ , respectivamente. A análise das isotermas de adsorção através do método não-linear para os modelos de isoterma de Langmuir, Freundlich e Temkin evidenciou que a isoterma utilizando as folhas de bamburral apresenta um processo exotérmico, confirmado pela pequena entalpia de adsorção igual a  $-0,34 \text{ kJ mol}^{-1}$ , sugerindo forças de natureza física. No entanto o modelo de Langmuir apresentou melhor conformidade com o resultado experimental, ou seja, mostra uma extensão maior da adsorção, sugerindo a formação de uma monocamada.

O processo de adsorção para a remoção de cálcio, utilizando as folhas do bamburral como adsorvente foi eficiente e promissor, permitindo possibilidades de novos estudos para sua melhor caracterização.

## 5 AGRADECIMENTOS

UECE/CECITEC.

## 6 REFERÊNCIAS

BRASIL, 2011. Portaria Nº 2914, 12 dezembro 2011. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 239, 14 dez. 2011. Seção 1, p. 39/46. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914\\_12\\_12\\_2011.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html). Acesso: 02 out. 2020.

FERREIRA, A. S. **Modificação química da casca de coco para remoção da dureza de água de poços: estudo de isoterma de adsorção e coluna de leito fixo**. 2015. 161 f. Monografia (Graduação em Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Tauá, 2015.

MEDEIROS, Hena Lissa de Sousa. **Estudo de adsorção do cálcio e estrôncio da água produzida utilizando carvão babaçu**. 2015. 144 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Petróleo) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

SANTOS, Mayra Soares. **Uso de biomassa de casca de banana e casca de arroz na remoção de cobre (II) e chumbo (II) de amostras de água da região do desastre ambiental de Mariana**. 2019. 61 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Teófilo Otoni, 2019.

SILVA, J. A.; SANTOS, D. S.; CAVALCANTE, T. G.; RODRIGUES, F. I. L.; DA SILVA, J. E.; MELO, L. C. Estudo do potencial de adsorção das folhas da catingueira para remoção de cálcio em água em função da variação do pH. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 9, p. 71388-71397, 2020.

## FUNGOS ANEMÓFILOS EM AMBIENTES INTERNOS E EXTERNOS DE UM CEMITÉRIO DO MUNICÍPIO DE FORTALEZA, CEARÁ

Camila M. Siebra\*<sup>1</sup>, João V. P. de Freitas<sup>1</sup>, Lydia D. M. Pantoja<sup>1</sup>, Germana C.  
Paixão<sup>1</sup>



<sup>1</sup>Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências da Saúde, \*e-mail: camila.siebra@aluno.uece.br.

**RESUMO:** Cemitérios devem realizar o monitoramento de sua qualidade do ar, visto que o aumento de contaminação aérea em centros urbanos é uma realidade. Dentro desse contexto, o trabalho objetivou monitorar fungos anemófilos em um cemitério de importância histórica para Fortaleza, Ceará. Entre set/2019 a fev/2020 foram realizadas coletas mensais em quatro setores, sendo dois internos (administração e capela) e dois externos (centro geográfico e parte posterior do cemitério). Para a coleta foi utilizado o método da sedimentação passiva. As placas foram encaminhadas ao LAMIC/UECE para o processo de identificação. Detectou-se os ambientes externos com maior quantitativo fúngico em relação aos ambientes internos e a relação I/E = 0,63 mostrou os ambientes dentro do conceito de normalidade. Os espaços externos além do maior quantitativo, também apresentaram a maior diversidade de gêneros. Destacou-se nos setores fechados a *Chrysonilia* e, setores abertos, *Rhizopus*. Por fim, apesar de os ambientes internos estarem dentro dos padrões exigidos pela legislação nacional, é necessário observar os possíveis impactos que os ambientes externos exercem sobre os internos, logo, monitoramentos periódicos são necessários.

**Palavras-chave:** Qualidade do Ar. Necrópole. Fungi.

**ABSTRACT:** Cemeteries must monitor their air quality, since the increase in air pollution in urban centers is a reality. Within this context, the work aimed to monitor anemophilic fungi in a cemetery of historical importance for Fortaleza, Ceará. Between Sep / 2019 to Feb / 2020, monthly collections were carried out in four sectors, two of which were internal (administration and chapel) and two external (geographic center and back of the cemetery). For the collection, the passive sedimentation method was used. The plates were sent to LAMIC/UECE for the identification process. The external environments with higher fungal quantity were detected in relation to the internal environments and the I/E = 0.63 ratio showed the environments within the concept of normality. The external spaces,

in addition to the highest number, also presented the greatest diversity of genres. *Chrysonilia* stood out in closed sectors and *Rhizopus*, open sectors. Finally, although the internal environments are within the standards required by national legislation, it is necessary to observe the possible impacts that the external environments have on the internal ones, therefore, periodic monitoring is necessary.

**Keywords:** Air Quality. Necropolis. Fungi.

## 1 INTRODUÇÃO

Os grandes centros urbanos são compostos por diversas estruturas que desenvolvem papéis fundamentais na execução de serviços que contemplem a população em prol de seu conforto como um todo, inclusive ambiental. Entre estas estruturas encontram-se os cemitérios, local designado para a destinação de cadáveres (LAUWERS, 2015).

Trabalhos anteriores tiveram seus focos na qualidade da água e do solo em cemitérios, apresentando poluições recorrentes em lençóis freáticos e percolação de necrochorume no solo (BALBINOT, 2015; UEDA *et al.*, 2011; KEMERICH, 2014). Porém, há a escassez de estudos relativos à Qualidade do Ar – QA junto ao principal bioindicador dessa qualidade, os fungos anemófilos, mesmo sendo do conhecimento das complicações causadas por fungos oportunistas a pessoas imunossuprimidas (SILVA, 2010) e imunocompetentes (MENDONÇA, 2011).

O monitoramento da QA tem sua importância reconhecida frente ao aumento de contaminação aérea em grandes centros urbanos (PANTOJA; COUTO; PAIXÃO, 2007), ambientes com particularidades, como os cemitérios, devem ter sua QA analisada com periodicidade. No Brasil os padrões de qualidade do ar são estabelecidos pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA nº 491/2018 (BRASIL, 2018), frente aos aspectos físico-químicos. No tocante aos aspectos microbiológicos, destaca-se a Resolução da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, nº 9 de 2003.

Dentro desse contexto, justifica-se o presente trabalho que visa monitorar a

presença de fungos anemófilos e analisar a relação Interno/Externo (I/E), exigida como forma de avaliação frente ao conceito de normalidade, representado pelo meio ambiente exterior e a tendência epidemiológica de amplificação dos poluentes nos ambientes fechados em um cemitério de importância histórica para o município de Fortaleza, Ceará.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A presente pesquisa caracteriza-se como explicativa do tipo experimental (GIL, 2007), quantitativa do tipo exploratória (SILVA; MENEZES, 2001). O local escolhido foi um cemitério com área de 95.657,53 m<sup>2</sup>, localizado no centro da cidade de Fortaleza, próximo ao litoral, tombado como patrimônio histórico pelo poder municipal e por este motivo recebe visitantes com alta frequência. É classificado como padrão tradicional, segundo a Resolução CONAMA N° 335/2003 (BRASIL, 2003).

As coletas ocorreram de set/2019 a fev/2020. Para a coleta de amostras foi utilizado o método da sedimentação passiva em placas de Petri de 150 mm de diâmetro, contendo o meio de cultura Ágar Batata Dextrose (Kasvi®) adicionado de cloranfenicol. Cada placa ficou exposta por período de 3 horas (08 às 11 da manhã), sendo alocadas a uma altura de até 1,5 m acima do solo (PEI-CHIN *et al.*, 2000). A distribuição das placas contemplou quatro setores do cemitério, dois internos (administração e capela) e dois externos (centro geográfico do cemitério (externo 1) e parte posterior do cemitério (externo 2).

Em seguida, as placas foram encaminhadas ao Laboratório de Microbiologia – LAMIC/UECE, onde permaneceram incubadas a temperatura de 25 – 28 °C durante sete dias. A partir do aparecimento de colônias fúngicas foi realizado a contagem global e utilizou-se de chaves de identificação (HOOG *et al.*, 2000). Foi obtida a média de Unidades Formadoras de Colônias fúngicas por metro cúbico (UFC/m<sup>3</sup>) de acordo Bogomolova e Kirtsideli (2009).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O quantitativo fúngico mensal foi de 3.097 UFC/m<sup>3</sup>, sendo o ambiente mais

biocontaminado o setor próximo a saída de rejeitos do cemitério, Externo 2, com média mensal de 1.127,4 UFC/m<sup>3</sup>, seguido dos setores Externo 1 com 795,5 UFC/m<sup>3</sup>, Administração com 668,4 UFC/m<sup>3</sup> e Capela com 506,2 UFC/m<sup>3</sup>. Ao analisar as médias por setor, constatou-se os setores internos com média mensal de 603,5 UFC/m<sup>3</sup>, enquanto a média mensal dos setores externos foi de 961,5 UFC/m<sup>3</sup>, estando o quantitativo dos setores interno dentro do recomendado pela Resolução nº 9 da ANVISA (BRASIL, 2003), que estipula o Valor Máximo Recomendável para contaminação microbiológica devendo ser  $\leq 750$  UFC/m<sup>3</sup>.

Para relação I/E, onde I é a quantidade de fungos no ambiente interior e E é a quantidade de fungos no ambiente exterior, a Resolução nº 9 da ANVISA (BRASIL, 2003) determina o  $I/E \leq 1,5$ , no presente trabalho tem-se que essa relação é igual a 0,63, mostrando uma tendência de ter maior quantitativo fúngico no espaço externo do que no interno. Quando a relação I/E for  $> 1,5$ , é necessário fazer um diagnóstico de fontes poluentes para uma intervenção corretiva, o que não acontece diante dos resultados catalogados na presente pesquisa, os ambientes aqui analisados se mostraram dentro do conceito de normalidade.

Foram identificados 17 gêneros no cemitério, sendo a maior diversidade no setor Externo 1 (14 gêneros), seguido da Capela (11), Administração (10) e Externo 2 (4). Agrupando os setores entre externos e internos, foi possível catalogar 12 gêneros nos setores internos e 14 nos setores externos. Logo, os espaços externos além do maior quantitativo, também apresentaram a maior diversidade de gêneros fúngicos.

Dentro do cemitério os gêneros que apresentaram maior frequência foram *Aspergillus* (100%), *Rhizopus* (75%) e *Mucor*, *Chrysonilia*, *Cladosporium* (50%) (Quadro 1). Frente a diversidade fúngica entre os ambientes internos e externos, destacaram-se os gêneros *Chrysonilia* e *Cladosporium* presentes apenas nos setores internos, corroborando com trabalhos anteriores que obtiveram resultados referente a *Chrysonilia* frequentemente presente em ambientes fechados (GOMES, 2014), enquanto o gênero *Rhizopus* ocorreu apenas nos ambientes externos, com presença de vegetações, sendo relatado por Oliveira (2007) como um importante fitopatógeno em frutos de interesse comercial.

**Quadro 1 – Gêneros fúngicos presentes no cemitério (set/2019 a fev/2020),  
Fortaleza-CE**

Filo	Família	Gênero
Ascomycota	Davidiellaceae	<i>Cladosporium</i> sp.
	Dematiaceae	<i>Nigrospora</i> sp.
	Herpotrichiellaceae	<i>Cladophialophora</i> sp.
		<i>Exophiala</i> sp.
	Hypocreaceae	<i>Acremonium</i> sp.
		<i>Trichoderma</i> sp.
	Nectriaceae	<i>Fusarium</i> sp.
	Pleosporaceae	<i>Curvularia</i> sp.
	Sordariaceae	<i>Chrysonilia</i> sp.
	Trichocomaceae	<i>Aspergillus</i> sp.
<i>Penicillium</i> sp.		
Família incerta	<i>Scytalidium</i> sp.	
Zygomycota	Mucoraceae	<i>Mucor</i> sp.
		<i>Rhizopus</i> sp.

#### 4 CONCLUSÕES

Os ambientes externos apresentaram maior quantitativo e qualitativo fúngico em relação aos ambientes internos e a relação I/E apresentou-se menor que 1,5, mostrando os ambientes aqui monitorados dentro do conceito de normalidade. Apesar disso, é necessário observar os possíveis impactos que os ambientes externos exercem sobre os ambientes internos, visto que os mesmos estão próximos e possuem transição de pessoas por toda a sua extensão, logo, monitoramentos periódicos são necessários.

#### 5 REFERÊNCIAS

BALBINOT, D.; ZILLI, M.; NECKEL, A.; PASSINI, A. F. C.; FOLLE, D. Interferência

granulométrica do solo para a percolação de contaminantes no cemitério municipal do bairro Petrópolis na cidade de Passo Fundo/RS-Brasil. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 6. 2015, Porto Alegre. **Anais** [...] Porto Alegre: – Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2015.

BOGOMOLOVA, E.; KIRTSIDELI, I. Airborne fungi in four stations of the St. Petersburg Underground railway system. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 63, n. 2, p. 156-160. 2009.

BRASIL. ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução nº 9, de 16 de janeiro de 2003. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 14, 20 jan., 2003.

BRASIL. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 335, de 03 de abril de 2003. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 101, 28 mai. 2003. Seção 1, p. 98-99.

BRASIL. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018. **Diário oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, n. 223, 21 nov. 2018. Seção 1, p. 155.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007. 176 p.

GOMES, Quitéria Meire Mendonça Ataíde. **Caracterização das instalações, equipamentos, móveis e utensílios das unidades de alimentação e nutrição de creches municipais em Maceió/AL e sua relação com a presença e disseminação de fungos - cenário 2012-2013**. 2014. 101 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição) - Faculdade de Nutrição, Programa de Pós-Graduação em Nutrição, Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2014.

HOOG, G. S. de; GUARRO, J.; GENÉ, J.; FIGUERAS, M. J. **Atlas of Clinical Fungi**. 2. ed. Amer Society for Microbiology, 2000. 1160 p.

KEMERICH, P.D. C.; SILVA, J. L. S. da; BARROS, G.; BORBA, W. F.; UCKER, F. E.; FOLETTO, C. V. Caracterização química da água subterrânea em área ocupada por cemitério: uso da técnica de espectrometria de fluorescência de raios-X por energia dispersiva (EDXRF). **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 7, n. 3, p. 166-182, 2012.

LAUWERS, M. **The birth of the cemetery: sacred places and land of the dead in the medieval West**. 1st ed., vol. 1. Campinas: EdUnicamp. 2015.

MENDONÇA, D. U.; MAIA, J. G. S.; ARAÚJO, F. C.; TEIXEIRA, M. A. F.; LOPES, M. F. B.; SENA, W. M.; MACHADO FILHO, Á. H. da S. Aspergilose pulmonar em paciente imunocompetente e previamente sadio. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 44, n. 1, p. 124-126, 2011.

OLIVEIRA, A. A. R.; SANTOS FILHO, H. P. **Podridão de rhizopus**. Comunicado Técnico -Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, n. 26. Mamão em foco, 2007.

PANTOJA, L. D. M.; COUTO, M. S.; PAIXÃO, G. C. Diversidade de bioaerossóis

presentes em ambientes urbanizados e preservados de um campus universitário. **O Biológico**, v. 69, n. 1, p. 41-47, 2007.

PEI-CHIN, W.; HUEY-JEN, S.; CHIA-YIN, L. Characteristics of indoor and outdoor airborne fungi at suburban and urban homes in two seasons. **The Science of the Total Environment**, v. 253, n. 1, p. 111-118, 2000.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3. ed. rev. atual. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001. 121 p.

SILVA, R. F. Infecções fúngicas em imunocomprometidos **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 36, n. 1, p. 142-147, 2010.

UEDA, S. M. Y.; SILVA, C. B.; MURÇA, M. A. S.; MUÑOZ, D. R.; FARIA, M. L.; VITA, R. F.; MIMICA, L. M. J. Comparação entre a microbiota da terra nos cemitérios: locais virgens e locais onde são enterrados corpos. **Arquivos Médicos dos Hospitais e da Faculdade de Ciências Médicas da Santa Casa de São Paulo**, v. 56, n. 2, p. 74-79, 2011.

## GEOPROCESSAMENTO APLICADO AO MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA

Luzia L. de C. Aguiar <sup>\*1</sup>, Marly N. de Carvalho <sup>1</sup>, Rafaella da S. Nogueira <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduação em Agronomia, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, \*e-mail: luziacastroo@yahoo.com.br.

<sup>2</sup>Instituto de Desenvolvimento Rural, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

**RESUMO:** A qualidade da água vem sendo alterada diante dos elevados índices demográficos, pelo desenvolvimento socioeconômico e tecnológico, além da rápida velocidade e extensão da globalização. Para acompanhar essa expansão a poluição dos recursos hídricos tem ocasionado impactos negativos nos agroecossistemas que diminuem a qualidade da água. O presente trabalho objetivou fazer uma revisão de literatura sobre o uso do geoprocessamento aplicado ao monitoramento da qualidade da água. O Índice da Qualidade da Água (IQA) abrange os nove parâmetros considerados mais representativos para a caracterização da qualidade das águas, que são: pH, temperatura, nitrato, fosfato, turbidez, sólidos em suspensão, DBO, saturação de oxigênio e coliformes. As ferramentas de geoprocessamento são tidas de suma importância para o monitoramento da qualidade da água e gestão de recursos hídricos. De posse dos dados de qualidade da água pode-se elaborar estratégias no intuito de minimizar possíveis degradações desse recurso, além de promover a conscientização das pessoas sobre a importância da preservação da qualidade da água.

**Palavras-chave:** Recursos hídricos. IQA. Sustentabilidade.

**ABSTRACT:** The quality of the water has changed due to the high demographic indexes, due to the socioeconomic and technological development, in addition to the rapid speed and extension of globalization. To accompany this expansion, pollution of water resources has caused negative impacts on agro-ecosystems that reduce water quality. This study aimed to review the literature on the use of geoprocessing applied to monitor water quality. The Water Quality Index (IQA) covers the nine parameters considered most representative for the characterization of water quality, which are: pH, temperature, nitrate, phosphate, turbidity, suspended solids, BOD, oxygen saturation and coliforms. Geoprocessing tools are of paramount importance to monitor water quality and manage water resources. With water quality data in mind, strategies can be developed to minimize the possible degradation of this resource, in addition to making people aware of the



importance of preserving water quality.

**Keywords:** Water resources. AQI. Sustainability.

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um componente integrado ao sistema global e essencial aos processos vitais dos organismos, mas sua qualidade pode ser modificada negativamente ao ser explorado ou consumido de forma exorbitante e sem o gerenciamento adequado. No decorrer dos tempos, os elevados índices demográficos aliados à constante demanda humana por água para a realização de suas atividades tem gerado constante poluição aos recursos hídricos (PRADO, 2004; LOPES *et al.*, 2008; MAIA *et al.*, 2008; GOMES *et al.*, 2017).

O aumento da demanda sobre os recursos hídricos ocorre devido a fatores, como por exemplo, o desenvolvimento socioeconômico impulsionado pelo avanço tecnológico, a velocidade e extensão da globalização, além das mudanças demográficas. A poluição desses recursos é oriunda principalmente de efluentes industriais, esgotos domésticos, da agricultura e pecuária, entre outros, ao qual reflete na escassez da água e deterioração, além de gerar prejuízos e restrições nos seus usos múltiplos (PRADO, 2004; LOPES *et al.*, 2008; MAIA *et al.*, 2008; GOMES *et al.*, 2017).

O lançamento de efluentes domésticos em corpos hídricos sem tratamento prévio, tem crescido significativamente, expressando a carência de esgotos sanitários em centros urbanos e rurais e a baixa conscientização da população. Com isso, os recursos hídricos recebem contaminantes orgânicos, nutrientes e microrganismos que podem ser patogênicos (LOPES *et al.*, 2008; MENEZES *et al.*, 2009; GOMES *et al.*, 2017).

A agricultura irrigada é apontada como uma das grandes poluidoras de fontes hídricas devido a utilização de insumos químicos, gerando problemas ambientais e sociais (LIBOS *et al.*, 2003; PRADO, 2004; MENEZES *et al.*, 2009; GOMES *et al.*, 2017). A baixa qualidade da água pode ser observada pelo aumento da retenção de sedimentos, alterações das características físicas, químicas e biológicas, alterações no sabor e odor, podendo ocorrer eutrofização e sua utilização ser comprometida, além de favorecer

condições de desequilíbrio ecológico que pode ser irreversível (LIBOS *et al.*, 2003; PRADO, 2004; GOMES *et al.*, 2017).

Diante da necessidade de caracterizar a qualidade da água ao longo da bacia hidrográfica ou ao longo do tempo, levou ao desenvolvimento de índices de qualidade das águas (IQA). Estes índices representam as impurezas quando alcançam valores superiores aos estabelecidos para determinado uso (BILICH; LACERDA, 2005; LOPES *et al.*, 2008).

Os dados de qualidade de água podem ser analisados temporalmente e espacialmente, utilizando-se para isso métodos estatísticos e/ ou geoestatísticos para avaliar os parâmetros de forma conjunta ou separadamente (MATOS *et al.*, 2016).

Com isso, o uso das geotecnologias é adotado como ferramentas auxiliares para o monitoramento da qualidade da água, podendo potencializar a visualização de cenários e tendências relacionadas aos seus usos múltiplos (MAIA *et al.*, 2008). O presente trabalho objetivou fazer uma revisão de literatura sobre o uso do geoprocessamento aplicado ao monitoramento da qualidade da água.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado no período de setembro a outubro de 2020 através de um levantamento de artigos por meio da plataforma do Google Acadêmico. Na ocasião, houve a seleção de artigos acadêmicos e dissertações de mestrado relacionadas à qualidade das águas superficiais, publicados entre o período de 2003 a 2018, posteriormente foi feita a leitura e elaboração do trabalho.

Para fundamentar os conceitos relacionados à utilização do geoprocessamento no monitoramento da qualidade da água, foi utilizado trabalhos de 10 autores, aos quais foram: Andrade *et al.* (2005), Bilich e Lacerda (2005), Gomes *et al.* (2017), Leonardi (2018), Libos *et al.* (2003), Lopes *et al.* (2008), Maia *et al.* (2008), Matos *et al.* (2016), Menezes *et al.* (2009) e Prado (2004).

Os autores citados elaboraram mapas mostrando a variabilidade dos parâmetros analisados da qualidade da água, assim como também descreveram e discutiram sobre eles. Alguns desses parâmetros serão apresentados adiante com o

intuito de verificar a aplicabilidade do geoprocessamento nesses estudos e também comparar o resultado obtido com o estabelecido pelas normas que regem a qualidade das águas.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao avaliar a qualidade da água de um reservatório, devem-se selecionar os pontos amostrais, realiza-se a coleta das amostras marcando os pontos amostrais com auxílio de GPS, prossegue com a análise dos parâmetros de qualidade da água e por fim, os dados são submetidos ao geoprocessamento e posterior análise dos parâmetros (LEONARDI, 2018).

Os dados utilizados para o monitoramento da qualidade da água foram obtidos no site do Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, e os vetores da bacia, rios e sedes municipais foram obtidos no site da Agência Nacional das Águas – ANA (GOMES *et al.*, 2017)

Prado (2004) utilizou em seu trabalho imagens obtidas pelos sensores multiespectrais Thematic Mapper (TM) e Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) a bordo dos satélites Landsat 5 e 7, além de outros programas como o Envi 3.4 RT, ArcView 3.2 da ESRI e Excel 2000. Libos, Rotunno Filho e Zeilhofer (2003), também utilizaram imagens Landsat 7.

A interpolação dos dados foi realizada por método de Krigagem (LEONARDI, 2018; LOPES *et al.*, 2008; MAIA *et al.*, 2008; PRADO, 2004) e pelo método inverso da distância, empregado pelo modelo IDW (Inverse Distance Weighted), ao qual baseia-se na dependência espacial entre os pontos (GOMES *et al.*, 2017; MAIA *et al.*, 2008; MENEZES *et al.*, 2009).

#### 3.1 Índice de qualidade da água (IQA)

Para a avaliação da qualidade da água alguns autores utilizaram o Índice de Qualidade da Água IQA baseado na National Sanitation Foundation (NSF) e adaptado pelo Comitesinos (1990). O Valor do IQA foi avaliado através da Equação 1.

$$IQA = \prod q_i^{w_i} \quad (1)$$

Onde, o IQA é o índice de qualidade de água (adimensional),  $\Pi$  é o multiplicatório,  $q_i$  é o valor correspondente a qualidade relativa da  $i$ -ésima variável,  $w_i$  é o peso relativo da  $i$ -ésima variável, e o valor de  $i$  representa o número de ordem da variável (ANDRADE *et al.*, 2005; BILICH; LACERDA 2005; LOPES *et al.*, 2008). Os valores de IQA variam entre os estados brasileiros, conforme o quadro 1, e os autores que utilizaram o IQA para análise de água estão descritos no quadro 2.

Segundo Lopes *et al.* (2008), este índice abrange os nove parâmetros considerados mais representativos para a caracterização da qualidade das águas, que são: pH, temperatura, nitrato, fosfato, turbidez, sólidos em suspensão, DBO, saturação de oxigênio e coliformes termo tolerantes, aos quais alguns desses parâmetros serão discutidos adiante.

**Quadro 1 - Classificação dos valores de IQA para os estados brasileiros**

Avaliação da Qualidade da Água.	AL; MG; MT; PR; RJ; RN e RS.	BA; CE; ES; GO; MS; PB; PE e SP.
Ótima	91 – 100	80 – 100
Boa	71 – 90	52 – 79
Regular	51 – 70	37 -51
Ruim	26 – 50	20 – 36
Inadequada	0 – 25	0 – 19

Ao avaliar o IQA Andrade *et al.* (2005) verificaram que o pior índice foi registrado no período seco devido ao processo de evaporação das águas. Enquanto Bilich e Lacerda (2005) verificaram que a qualidade da água apresentou índice inferior nas estações chuvosas, sendo que nos pontos de coleta houve variação na qualidade da água, entre Ruim, Regular e Ótima.

Na avaliação geral, os resultados dos índices foram considerados Ótimos para Andrade *et al.* (2005), Bom para Bilich e Lacerda (2005) e variando entre Regular a Bom

para análise feita por Lopes *et al.* (2008).

**Quadro 2 - Autores que utilizaram IQA em suas análises**

Parâmetro	Autores	Local	Metodologia	Softwares	Resultado
Índice de Qualidade da Água (IQA)	Andrade <i>et al.</i> (2005)	Jusante da Barragem Roberto Costa até a Foz do Rio Trussu, CE	IQA - períodos seco e chuvoso		Acima de 80, classificado como ótimo
	Bilich e Lacerda (2005)	DF - GO	IQA - períodos seco e chuvoso	ArcView	Bom
	Lopes <i>et al.</i> (2008)	Bacia hidrográfica do Acaraú – CE	IQA - períodos seco e chuvoso	Surfer; ArcGIS; SPSS*	Regular a Bom

\*SPSS (Statistical Package for the Social Sciences).

### 3.2 Geoprocessamento

A avaliação da qualidade da água também pode ser obtida analisando alguns parâmetros previamente estabelecidos e de acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005. De posse dos dados, elaborar-se mapas que demonstram a variabilidade espacial ou temporal dos parâmetros analisados, alguns autores seguiram este método conforme demonstra os quadros 3 e 4 ao quais os resultados serão discutidos adiante.

**Quadro 3 - Parâmetros Físicos de qualidade da água**

Parâmetro	Autores	Local	Metodologia	Software	Resultado
-----------	---------	-------	-------------	----------	-----------

			utilizada		
Turbidez: até 40 unidades nefelométrica de turbidez (UNT).	Leonardi (2018)	Rio Barigui, PR	Geoestatística; análise nos períodos de inverno, primavera, verão e outono	R e o pacote de extensão GeoR. Krigagem	14,7 e 230 estações outono e primavera respectivamente
	Maia <i>et al.</i> (2008)	Reservatório Barra Bonita, SP	Geoestatística; estações seca e chuvosa;	EcoWatch; Surfer	Média de 345,23 e 388,23 período seco e chuvoso respectivamente
Sólidos dissolvidos Totais: VMP* 500 mg/L	Leonardi (2018)	Rio Barigui, PR	Geoestatística; análise nos períodos de inverno, primavera, verão e outono	R e o pacote de extensão GeoR. Krigagem	0,08 e 196 para os períodos primavera e inverno respectivamente
	Menezes <i>et al.</i> (2009)	Bacia Hidrográfica do Rio São Domingos, RJ	Geoprocessamento	ArcGIS IDW**	11,76

\*VMP: Valor Máximo Permitido; \*\*IDW: Inverse Distance Weighted.

Ao avaliar a turbidez Leonardi (2018) encontrou valores de 14,7 e 230 para as estações outono e primavera respectivamente. Segundo o autor, os valores menores de turbidez concentram-se onde passa o rio e os mais elevados no interior da lagoa.

Ao avaliar a turbidez Maia *et al.* (2008) obteve valores médios muito elevados, segundo o autor, isso deve-se a presença de sólidos em suspensão, formados por partículas inorgânicas (areia, silte, argila), algas, plâncton, bactérias, detritos orgânicos, entre outros.

Com relação aos Sólidos Totais Dissolvidos (TDS) Leonardi (2018) obteve

valores muito elevados, aos quais são encontrados contornando o rio, enquanto Menezes *et al.* (2009) obteve valor de 11,76 em suas análises.

**Quadro 4 - Parâmetros Químicos da qualidade da água**

Parâmetros	Autores		Metodologia	Software	Resultado
pH/ 6,0 a 9,0	Leonardi (2018)	Rio Barigui, PR	Geoestatística; análise nos períodos de inverno, primavera, verão e outono	R e o pacote de extensão GeoR. Krigagem	7,20 a 10,26
	Maia <i>et al.</i> (2008)	Reservatório Barra Bonita, SP	Geoestatística para as estações seca e chuvosa;	EcoWatch; Surfer IDW	7,47 e 7,42 período chuvoso e seco respectivamente
	Prado (2004)	Reservatório de Barra Bonita (SP)	Geoprocessamento - período seco e chuvoso;	Spring Krigagem	6,20 e 7,29 período seco; 6,83 a 7,78 período chuvoso
Nitrato/ 10,00 mg L <sup>-1</sup>	Gomes <i>et al.</i> (2017)	Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba, MG	Geoprocessamento	ArcGIS e IDW	1,86 valor máximo
	Leonardi (2018)	Rio Barigui, PR	Geoestatística; análise nos períodos de inverno, primavera, verão e outono	R e o pacote de extensão GeoR. Krigagem	0,09 e 5,07 inverno e primavera respectivamente
	Menezes <i>et al.</i> (2009)	Bacia Hidrográfica do Rio São	Geoprocessamento	ArcGIS IDW	0

		Domingos, RJ			
--	--	-----------------	--	--	--

Ao avaliar os teores de nitrato, Gomes *et al.* (2017) obteve o valor máximo de 1,86, segundo o autor, as fontes de nitrato nos cursos d'água pode ser oriundo da agricultura e pecuária intensiva, fertilizantes agrícolas com nitrogênio, esterco animal, esgoto humano, entre outros.

Leonardi (2018) obteve valores para nitrato de 0,09 na época do inverno e 5,07 na época da primavera, que são o menor e maior valor respectivamente. Enquanto Menezes *et al.* (2009) obteve valor zero na análise de nitrato para águas superficiais. Ao avaliar o potencial hidrogeniônico (pH), Maia *et al.* (2008) obteve valores de 7,47 para a estação chuvosa e 7,42 para a estação seca. Esses resultados provavelmente foram obtidos em decorrência do aumento da entrada de nutrientes e ácidos orgânicos no ecossistema aquático por meio do escoamento superficial que ocorre nos períodos de chuva, ao qual vem acelerando com o passar dos anos (MAIA *et al.*, 2008). Leonardi (2018) obteve valor mínimo de pH na primeira coleta de 7,20 e máximo na última coleta com valor de 10,26. Prado (2004) obteve valores de pH variando temporalmente de 6,20 a 7,29 para o período seco, e valores de 6,83 a 7,78 para o período chuvoso.

Os valores de pH podem ser alterados de forma rápida em um mesmo ecossistema aquático pela entrada de ácidos orgânicos e inorgânicos, pela chuva consideravelmente ácida, além da sua relação com as comunidades aquáticas, podendo ter interferência da assimilação do nitrogênio pelo fitoplâncton, fotossíntese e respiração (PRADO, 2004; MAIA *et al.*, 2008).

#### 4 CONCLUSÕES

Em meio a todo o processo de globalização, industrialização e demanda humana por água para realização de suas atividades, os recursos hídricos vêm passando por constante poluição oriunda dos mais variadas setores. Com isso, a boa gestão dos recursos hídricos é muito importante para a preservação desse bem.

As ferramentas geotecnológicas são uma boa opção para realização de



fiscalização e monitoramento da qualidade da água de reservatórios visando auxiliar em uma boa gestão desses recursos e conseqüentemente minimizar os impactos causados. Para uma gestão eficiente da água, deve haver conscientização da população para que tenham atitudes que auxiliem a minimizar a redução da qualidade da água.

## 5 AGRADECIMENTOS

A Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Campus Redenção- Ceará, pela oportunidade de estudar; ao grupo de pesquisa TOPOGEO da Unilab por incentivar a pesquisa.

## 6 REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1987. **NBR 9800**: Critérios para lançamento de efluentes líquidos industriais no sistema coletor público de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1987. 3 p.

ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2020. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/default.aspx>. Acesso em 20 set. 2020.

ANDRADE, E. M.; PALÁCIO, H. A. Q; CRISÓSTOMO, L. de A.; ARAÚJO, L. de; DE SOUZA, I. H.; TEIXEIRA, A. dos S. A proposed water quality index: the case of Trussu River, Ceará, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 36, n. 2, p. 135-142., 2005.

BILICH, M. R.; LACERDA, M. P. C. Avaliação da qualidade da água do Distrito Federal (DF), por meio de geoprocessamento. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12.*, Goiânia. **Anais [...]** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2059-2065.

COMITESINOS. COMITÊ DE PRESEVARÇÃO, GERENCIAMENTO E PESQUISA DA BACIA DO RIO DOS SINOS. **Utilizando de um índice de qualidade da água no rio dos Sinos**. Porto Alegre: COMITESINOS, 1990. p. 33.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE, 2005. Resolução CONAMA nº 357/2005, de 17 de março de 2005. **Diário Oficial da União, Brasília, DF**, n. 53, 18 mar. 2005. Seção 1, p. 58-63.

GOMES, L. D. M. J.; VANTIL, S. F.; DOS SANTOS, I. C. L.; VIEIRA, E. M. Uso do geoprocessamento para análise de parâmetros da qualidade da água: estudo de caso na bacia hidrográfica do Rio Piracicaba-MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 3, p. 812-825, 2007.

LEONARDI, Ivan Rodrigo. **Modelagem geoestatística de parâmetros de qualidade da**

**água na lagoa do rio Barigui em Curitiba-Paraná.** 2018. 122 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

LIBOS, M. I. P. C.; ROTUNNO FILHO, O. C.; ZEILHOFER, P. Modelagem da poluição não pontual na bacia do rio Cuiabá baseada em Geoprocessamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 4, p. 115-135, 2003.

LOPES, F. B.; DOS SANTOS TEIXEIRA, A.; DE ANDRADE, E. M.; AQUINO, D. do N.; ARAÚJO, L. de F. P. Mapa da qualidade das águas do rio Acaraú, pelo emprego do IQA e Geoprocessamento. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 39, n. 3, p. 392-402, 2008.

MAIA, J. L.; MAUAD, F. F.; ALBERTIN, L. L.; BARBOSA, A. A. Uso de geotecnologias para análise espacial da qualidade da água no Reservatório de Barra Bonita - SP. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. abr./ju, p. 141-149, 2008.

MATOS, F. T.; WEBBER, D.; FONTOURA, A., PINHO, E.; ROUBACH, R.; BUENO, G.; BARROS, D. Monitoramento de qualidade de água das atividades aquícolas em reservatórios continentais brasileiros. **Embrapa Pesca e Aquicultura-Documents (INFOTECA-E)**, 2016.

MENEZES, J. M.; PRADO, R. B.; SILVA JÚNIOR, G. C. D.; MANSUR, K. L.; OLIVEIRA, E. dos S. de. Qualidade da água e sua relação espacial com as fontes de contaminação antrópicas e naturais: bacia hidrográfica do rio São Domingos-RJ. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 4, p. 687-698, 2009.

PRADO, Rachel Bardy. **Geotecnologias aplicadas à análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra e qualidade da água do reservatório de Barra Bonita, SP, como suporte à gestão de recursos hídricos.** 2004. 166 f. São Carlos. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.

## GEOPROCESSAMENTO APLICADO AOS RECURSOS HÍDRICOS

**Victor H. V. Bandeira<sup>1</sup>, Francisco M. da C. Silva<sup>1</sup>, Rafaella S. Nogueira<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Graduação em Agronomia, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, \*e-mail: victorhvb@hotmail.com.

<sup>2</sup>Instituto de Desenvolvimento Rural, Universidade da Integração Internacional da

Lusofonia Afro-Brasileira.

**RESUMO:** O geoprocessamento compreende um conjunto de tecnologias que auxiliam a confecção de mapas, dessa forma, é uma ferramenta essencial para avaliação dos recursos hídricos, mesmo existindo leis que asseguram o uso da água de forma racional, devido a extensão territorial do país e a falta de fiscalização, nem sempre acontece de forma correta. O presente estudo tem como objetivo apresentar métodos de aplicação do geoprocessamento para o monitoramento dos recursos hídricos, utilizados na literatura. A metodologia empregada foi a pesquisa bibliográfica na base de dados da Capes e Scielo dos anos de 2017 a 2020, sendo que os artigos deveriam ser publicados em revistas brasileira com o qualis abaixo de B2 em categorias das ciências agrárias e ciências ambientais, foram encontrados 3 artigos no Scielo e 13 na Capes, foram encontradas várias áreas de trabalho, podendo ser encontrado área da agronomia, geologia, geografia, entre outras. A Utilização de sistemas de informação geográficas (SIG), possibilitou a avaliação detalhada dos recursos hídricos, sendo assim facilitou o entendimento da degradação desses recursos.

**Palavras-chave:** Sistemas de informação geográficas. Qualidade da água. Sustentabilidade.

**ABSTRACT:** Geoprocessing comprises a set of technologies that assist in making maps, so it is an essential tool for assessing water resources, even though there are laws that ensure the rational use of water, due to the country's territorial extension and the lack of inspection, does not always happen correctly. The present study aims to present methods of application of geoprocessing for monitoring water resources, used in the literature. The methodology used was bibliographic research in the database of Capes and Scielo from the years 2017 to 2020, and the articles should be published in Brazilian journals with qualifications below B2 in categories of agrarian sciences and environmental sciences, 3 were found articles in Scielo and 13 in Capes, several areas of work were found, including agronomy, geology, geography, among others. The use of geographic information systems (GIS), enabled the detailed assessment of water resources, thus facilitating the

understanding of the degradation of these resources.

**Keywords:** Geographic information systems. Water quality. Sustainability.

## 1 INTRODUÇÃO

O geoprocessamento compreende um conjunto de tecnologias que são utilizadas para tratar imagens georreferenciadas, algumas dessas tecnologias são conhecidas como Sistema de Informação Geográfica (Sig) e Global Positioning System (GPS), o conjunto dessas informações são tratadas em softwares específicos que podem gerar uma variedade de mapas com várias informações.

Dessa forma, o geoprocessamento surge como uma ferramenta de auxílio no monitoramento de diversos atributos ligados aos recursos hídricos, podendo ser empregado na avaliação da qualidade da água, uso e ocupação das margens de rios, lagos e entre outros, contribuindo assim, com informações para a tomada de decisão na gestão desses recursos.

Em 1997 foi publicado a lei das águas, em seu capítulo II, art 2º da Lei Nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997 comenta que os objetivos da política nacional de recursos hídricos é, “Assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos, a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais” (BRASIL,1997).

Essa lei é um marco para a preservação dos recursos hídricos, mas nem sempre é seguida, segundo Gomes *et al.* (2017) em estudo realizado na bacia do Rio Piracicaba-MG, foram externados problemas em relação ao tratamento e deterioração dos recursos hídricos, devido aos rejeitos das atividades econômicas da região, algo muito comum no restante do país. Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo apresentar métodos de aplicação do geoprocessamento para o monitoramento dos recursos hídricos, utilizados na literatura.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi realizado através de pesquisas bibliográficas em base de dados da Scielo e Capes, tratando-se de um estudo do tipo revisão integrativa, reunindo, explorando e discutindo informações já constatadas por outros autores, sobre as formas de aplicação das geotecnologias para o monitoramento e análise dos recursos hídricos. Para a produção do trabalho foram realizadas quatro etapas: Definição dos parâmetros das pesquisas primárias e busca na literatura; seleção e exclusão dos artigos que compuseram a amostra de pesquisa; análise dos artigos selecionados para a revisão e interpretação e discussão dos artigos.

Para o levantamento dos artigos na realização da revisão foram utilizadas duas bases de dados: Scientific Eletronic Library Online (SciELO) e Portal de Periódicos Capes/ Mec. A busca foi realizada utilizando as palavras-chave geoprocessamento e recursos hídricos.

Como critérios iniciais de inclusão foram utilizados, publicações em português, com textos completos e disponíveis online nas plataformas de pesquisas selecionadas, entre os períodos de 2017 a 2020. Os critérios de exclusão foram, artigos duplicados nas plataformas de busca e publicações anteriores ao ano de 2017. Utilizando os critérios de busca estabelecidos, foram gerados 5 resultados na plataforma da Scielo e 36 resultados na plataforma Capes.

Os artigos encontrados nas plataformas de pesquisa foram analisados e selecionados através de novos critérios de inclusão (qualis igual ou superior a B2 para uma das categorias ciências agrárias e ciências ambientais) e exclusão (temáticas similares). Logo após, realizou-se a leitura dos resumos que estavam disponíveis, avaliando se estes contemplavam a proposta inicial do trabalho, resultando na seleção de 13 artigos.

Na base de dados SciELO a busca através das palavras chaves e após exclusão por critérios já estabelecidos resultou em 3 artigos selecionados, enquanto, na base de dados Capes, foram selecionados 10 artigos. Logo após ocorreu a leitura destes de forma mais criteriosa, para a apresentação e discussões dos resultados. Das quinze pesquisas selecionadas, as publicações aconteceram nos anos de 2017 (6), 2018 (3) 2019 (4), realizadas em âmbito nacional, nos seguintes periódicos: Anuário do Instituto

de Geociências - UFRJ, Ciência Florestal, Engenharia Sanitária e Ambiental, Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science e Revista Brasileira de Geografia Física.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Quadro 1, são expostas as pesquisas usadas com parâmetro para desenvolver as discussões sobre a temática da pesquisa posteriormente.

**Quadro 1 - Artigos selecionados para discussão**

Temáticas	Metodologias aplicadas	REFERÊNCIAS
Estudo sobre a influência das formas de uso da terra na qualidade da água	Análise temporal e determinação do Índice de Qualidade Ambiental de Recursos Hídricos (IQA).	Ortega e Pompêo (2017).
	Interpolação de parâmetros de qualidade da água.	Gomes <i>et al.</i> (2017).
Alteração da naturalidade de paisagens (Bacia hidrográfica) através de ações antrópicas	Índice de Urbanidade (IB) e Índice de Qualidade Ambiental de Recursos Hídricos (IQA Hidro)	Silva <i>et al.</i> (2017).
Análise de características hidrogeoquímicas de corpos d'água superficiais	Aplicação do Índice de Qualidade da Água Normalizado (IQAN)	Silva <i>et al.</i> (2017).
	Mapeamento	Pereira, Almeida e Silva (2017).
Análise de características hidrogeoquímicas de águas subterrâneas	Mapeamento, subsidiado pela estatística multivariada e redes neurais	Mattos <i>et al.</i> (2019).

Representação cartográfica do relevo de uma bacia hidrográfica	Conversão do modelo digital de superfície (MDS) a modelo digital de elevação hidrologicamente condicionado (MDEHC)	Salis <i>et al.</i> (2018).
Planejamento e gestão de APP'S em recursos hídricos	Classificação e mapeamento do uso de terra	Eugenio <i>et al.</i> (2017)
	Classificação e mapeamento do uso de terra	Souza <i>et al.</i> (2019)
	Mapeamento do uso de terra e quantificação das áreas com base na legislação ambiental	Gontijo <i>et al.</i> (2019)
	Classificação e mapeamento do uso de terra	Teixeira <i>et al.</i> (2018)
Avaliação do Risco a Inundação em Bacia Hidrográfica	Mapa de suscetibilidade a inundação	Campioli, Vieira (2019)
Assoreamento	Mapa do índice de suscetibilidade à erosão	Siqueira e Vanzela (2018)

### 3.1 Estudo sobre a influência das formas de uso da terra na qualidade da água

As diferentes formas de utilização e ocupação da terra em conjunto com as atividades antrópicas desordenadas, possuem grande potencial de modificação de paisagens tendo influência direta na contaminação, utilização insustentável, assoreamento e redução dos corpos d'água, estas alterações acarretam perturbações de ecossistemas aquáticos e nas características ligadas a qualidade da água (ORTEGA;

POMPEO, 2017; GOMES *et al.*, 2017). Diversos autores abordam o emprego das ferramentas e técnicas de geoprocessamento, como ferramenta de análise da relação existente entre as intervenções das atividades humanas e a redução da qualidade física, química e biológica dos recursos hídricos, permitindo assim, o planejamento e a gestão dos corpos d'água.

Ortega e Pompêo (2017), ao analisarem a pressão que o uso da terra exerce na bacia hidrográfica do rio Juqueri, utilizaram o Índice de qualidade ambiental e recursos hídricos (IQA) através de amostragens nas nascentes dos rios para a constatação do grau de pureza da água, análises no ponto médio da bacia para caracterizar mudanças temporais e amostras na jusante para identificar o nível de poluição na bacia hidrográfica. Os resultados do IQA foram cruzados com mapas temporais do uso de terra e analisados a partir de estatística descritiva multivariada.

A modificação no uso da terra proporcionou um aumento das áreas com solo exposto ocasionando um aumento dos processos erosivos e degradação ambiental, em detrimento, áreas de pastagem, florestais e corpos de água sofreram uma redução ao longo dos anos, indicando maior pressão ambiental nessas classes. O cruzamento dos mapas temporais do uso da terra e IQA, revelaram uma diminuição da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e oxigênio dissolvido, e um aumento nos índices de turbidez, sólidos totais, nitrogênio e fósforo.

Os autores Gomes *et al.* (2017), ao analisarem a deterioração provocadas nas águas da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba – MG, fomentada através das principais atividades econômicas da região, avaliaram parâmetros de qualidade da água em pontos localizados no percurso da bacia, gerando mapas com estimativas em toda a bacia para as características estudadas, mediante o processo de interpolação espacial de dados.

Através do estudo, foi constatado nas áreas com a concentração de indústrias de extração de minério de ferro tiveram forte contribuição na presença de ferro dissolvido, à forte concentração de setores industriais na região favoreceram um aumento da alcalinidade em praticamente toda a bacia, áreas com maior influência de atividades agropecuárias intensivas obtiveram maiores teores de nitrato e a diminuição do DBO está relacionada ao lançamento de rejeitos sanitários municipais.



### **3.2 Alteração da naturalidade de paisagens (Bacia hidrográfica) através de ações antrópicas**

O modelo de urbanização descontrolado e sem planejamento prévio, que prioriza a expansão territorial e a utilização de recursos naturais ignorando os ecossistemas, são os principais motivos do surgimento de distúrbios ambientais ligados a fertilidade do solo, qualidade e diminuição dos corpos d'água, além da diminuição da biodiversidade (SILVA *et al.*, 2017).

O planejamento e a gestão ambiental surgem como medidas preventivas aos desgastes nos ciclos ambientais e recursos naturais, nesse sentido, a efetivação de análises através de ferramentas de geoprocessamento podem fornecer assistência projetando representações espaciais e temporais de áreas de conflito ambiental devido a urbanização.

Silva *et al.* (2017) em estudo sobre a alteração da naturalidade devido a urbanização e atividades antrópicas, na Bacia Hidrográfica do Rio Monjolinho, confrontaram resultados do índice de qualidade ambiental dos recursos hídricos (IQA) e o índice de urbanidade (IB) com mapas temáticas de classes dos solos predominantes da região, declividade e densidade populacional, observando a relação existente entre áreas de maior alteração da paisagem natural com impactos negativos no decorrer do percurso do Rio Monjolinho. O estudo do IQA-Hidro demonstra que os cursos hídricos próximos a áreas de atividades agrícolas e urbanizadas estão sujeitos a maiores riscos de degradação ambiental, indicando que a naturalidade da paisagem da bacia hidrográfica do Rio Mojolinho mostra-se altamente alterada, principalmente devido a essas atividades.

### **3.3 Análise de características hidrogeoquímicos de corpos d'água superficiais e subterrâneas**

Garantir a capacidade de oferta da água, assim como sua qualidade, é inquestionavelmente um fator determinante para a vida e um recurso indispensável para diversas cadeias produtivas. Para tanto, conhecer suas características químicas, físicas e biológicas, além de identificar situações de vulnerabilidades ambientais das bacias

hidrográficas e recursos hídricos subterrâneos, se torna imprescindível para a gestão sustentável desses recursos.

Silva *et al.* (2017) em estudo na bacia hidrográfica do rio Una utilizaram o Índice de Qualidade da Água Normalizado (IQAN), através de amostragens selecionadas em pontos de maior desmatamento da mata ciliar presentes nas sub-bacias e seus respectivos exutórios, objetivando determinar a qualidade da água durante o percurso de escoamento, assim como, a correlação existente entre as formas de utilização do solo. O estudo demonstra que a área rural localizada ao sul da Bacia, apresentou o pior valor de IQAN quando comparado a região com maior nível de urbanização ao norte da região, em virtude da maior quantidade de rejeitos oriundos do escasso saneamento básico e das atividades agropecuárias.

Pereira, Almeida e Silva (2017) verificaram na Bacia do Guapimirim-Macacu, a partir de amostragens em pontos de maior fragilidade ambiental objetivando a elaboração do índice de qualidade da água (IQA) para parâmetros físicos-químicos com intuito de classificar e mapear trechos favoráveis ao abastecimento humano. O estudo aponta que praticamente todos trechos da bacia possuem valores de IQA razoáveis a ruins, devido ao aporte de efluentes domésticos e industriais, necessitando de tratamento de água mais oneroso para se tornar potável.

Mattos *et al.* (2019) utilizaram amostras coletadas em 21 poços profundos em duas estações do ano uma durante o período chuvoso e outro na estiagem, realizando análise laboratorial de constituintes físicos e químicos, os dados foram submetidos a análise estatística multivariada e produção de mapas das características hidrogeoquímicas a partir de redes neurais artificiais, para a verificação da qualidade das águas subterrâneas. Os poços profundos localizados nos setores 1 e 2 possuem boa qualidade hidrogeoquímica, os poços localizados no setor 3 possuem boa qualidade, entretanto, possuem riscos de contaminação devido a atividades humanas, os poços do setor 4 necessitam de tratamento para que se torne potável.

### **3.4 Representação cartográfica do relevo de uma bacia hidrográfica**

Representar cartograficamente as características geomorfológicas condizente

com a realidade dos terrenos das paisagens é essencial para o conhecimento das interações dos recursos hídricos com os demais fatores ambientais, bem como, com as atividades antrópicas.

Salis *et al.* (2018) aplicaram o processo de conversão do modelo digital de superfície (MDS) a um modelo digital de elevação hidrologicamente condicionado (MDEHC), obtendo uma representação espacial das características físicas da bacia. As análises das informações presentes no mapa proporcionaram o maior detalhamento devido à retirada da interferência do dossel da vegetação nativa, contribuindo para o gerenciamento adequado dos recursos ambientais.

### **3.5 Planejamento e gestão de APP'S em recursos hídricos**

As áreas de preservação permanente (APP) têm como função a preservação dos recursos hídricos, desempenhando o papel de proteção das nascentes, encostas, morros, montes, montanhas e serras ao longo dos cursos d'água, além disso, assegura a proteção de áreas com a presença de restinga. O artigo 4 da Lei nº12.651/2012 apresenta a delimitação das APP's utilizando como base a largura dos recursos hídricos e topografia da região, que na prática devido a falta de investimento em órgãos de fiscalização e em tecnologias capazes de vistoriar grandes extensões de áreas como é o caso dos sistemas de informação geográficas (SIG), esses limites nem sempre são seguidos.

Eugenio *et al.* (2017), delimitaram todas as APPs do estado do Espírito Santo, para tanto, foi realizada a representação topográfica através do Modelo Digital de Elevação (MDE), as delimitações das APPs foram feitas de acordo com a legislação ambiental, na qual, o MDE serviu como base para confeccionar o mapa. Para as áreas em torno das nascentes foi utilizada a técnica de Buffer, todo o artigo foi realizado na escala de 1: 35.000. O trabalho apresentou que a maiorias das APPs estão presentes na face oeste do estado e que as APPs ao longo de cursos d'água apresentam cerca de 10,42% da área total do estado.

Souza *et al.* (2019), utilizaram técnicas de geoprocessamento para delimitar APPs com foco em identificar conflitos no uso da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão

Lamarão no Distrito Federal, foram utilizadas imagens do satélite ALOS com resolução espacial de 10 metros, as bases cartográficas foram criadas no formato digital com escala de 1: 10.000, utilizando o software AutoCad para o tratamento das imagens. A metodologia empregada apresentou eficiência na delimitação automática de APPs, a agricultura é responsável por 38% das áreas ocupadas de forma irregular, e cerca de 15% dessa ocupação irregular pertence a pastagem, ou seja, só agropecuária com esses dois dados tem cerca de 53% de ocupação dessas áreas.

Gontijo *et al.* (2019), quantificaram, caracterizam e mapearam as Sub-bacias GD2 Vertentes do Rio Grande, no estado de Minas Gerais. Foram utilizadas imagens do satélite Landsat-8 com a resolução de 30 x 30 metros, após a seleção das melhores imagens foi utilizado o classificador Support Vector Machines (SVM), para diferenciar a vegetação, após a coleta das amostras geradas pelo SVM foi realizada a mensuração utilizando a estimativa de KAPPA. Também foi realizado o processamento de dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), com base na legislação ambiente foi possível identificar o topo de morros e montanhas. A análise das APPs poderá ter sido subestimada pois, o sensor utilizado de 30 x 30 metros não seria indicado, tendo em vista que objetos menores que 30 metros poderão não ter sido representados, não foi encontrada APP em topo de morro e cerca de 36% dos 30 metros estabelecido por lei está com cobertura do solo em rios.

Teixeira *et al.* (2018), avaliaram as condições de fragmentação dos remanescentes florestais nativos do município de Bragança Paulista em São Paulo, com intuito de identificar corredores ecológicos e com base nos resultados, apresentar ao poder público ações necessárias para garantir a preservação ambiental da região, para tanto, foi realizado uma compilação de imagens, montando uma base de dados SIG, posteriormente foram empregadas técnicas de geoprocessamento para a confecção de shapes no software ArcGis na escala de 1:50.000. A metodologia empregada apresentou eficiência e eficácia nos estudos, foi relatado escassez de Mata Atlântica.

### **3.6 Avaliação do risco a inundação em bacia hidrográfica**

O aumento desordenado da população, aliado ao mau planejamento e gestão

das cidades a longo prazo, contribuíram para a expansão e ocupação da população em áreas consideradas marginais e de risco, localizadas próximas a cursos d'água, representando um grande prejuízo ao meio ambiente e risco para a população, devido às inundações e enchentes.

Campioli e Vieira (2019), analisaram a suscetibilidade e a vulnerabilidade de risco de inundação na bacia hidrográfica do Rio Cubatão do Norte em Santa Catarina, para confecção dos mapas foi utilizado o processo analítico hierárquico (AHP), a partir do software ArcGis, nele foi possível ser feito os layers que ajudaram nos resultados, esse layers tem a informação de hipsometria, declividade, uso do solo, pedagogia e geologia, com eles foram criados classes que eram avaliados de 1 a 5. Com a metodologia empregada foi perceptivo que cerca de 94% da bacia apresenta baixa vulnerabilidade pois são áreas de uso restrito.

### 3.7 Assoreamento

O assoreamento é algo muito comum de ser encontrados em rios, isso está acontece mais por conta de ação antrópica, o homem desmata as matas ciliar e deixa o solo sem vegetação, com isso ocasiona o transporte de sedimento até os rios, como não tem mata ciliar esses sedimentos não tem uma barreira que impeça a entrada deles nos leitos dos rios, com passar do tempo vai acumulando cada vez mais sedimentos, com esse problema os rios terão uma menor capacidade de suportar uma cheia, com isso acontecerá mais enchentes e outros problemas graves.

Siqueira e Vanzela (2018), realizaram simulação de aporte de sedimento na bacia agrícola em Fernandópolis por meio do uso do geoprocessamento. Foi utilizado a metodologia de MUSLE, utilizou vários cálculos para simular o aporte de sedimento na bacia entre outubro de 2012 a setembro de 2013. Cerca de 3,635 t.ha<sup>-1</sup>/ano em perda média de solo, o que apresenta um moderado risco de erosão, a bacia hidrográfica apresentou cerca de 433,87t de aporte de sedimento, em fevereiro de 2013 apresentou alto risco de erosão, a região sudeste da bacia é que apresenta valores mais críticos por conta da produção da cana de açúcar e pôr com dá declividade.

#### 4 CONCLUSÕES

A utilização de sistemas de informação geográficas (SIG), neste contexto, proporcionam vantagens excepcionais em relação a eficiência e integração de dados para uma extensa área de pesquisa, possibilitando uma análise detalhada e representação espacial levando em consideração as variações durante o tempo, facilitando assim, o entendimento da dinâmica dos fatores que afetam os processos de degradação dos recursos hídricos, como também, possibilita o estudo de diversos segmentos de pesquisa envolvendo os corpos d'água.

#### 5 REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos, seus fins e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 470, 9 jan. 1997. Seção 1, p. 470. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9433.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9433.htm). Acesso em: 13 out. 2020.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Diário Oficial da União, Brasília, DF**, 28 mai. 2012. Seção 1, p. 1. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm). Acesso em: 5 nov. 2020.

CAMPIOLI, P.; VIEIRA, C. Avaliação do Risco a Inundação na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte, Joinville/SC (Flood Risk Assessment in the Cubatão do Norte River Basin, Joinville/Santa Catarina – Brazil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 1, p. 124-138, 2019.

EUGENIO, F. C.; SANTOS, A. R.; FIEDLER, N. C.; RIBEIRO, G. A.; DA SILVA, A. G.; SOARES, V. P.; GLERIANI, J. M. Mapeamento das áreas de preservação permanente do estado do Espírito Santo, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 897-906, 2017.

GOMES, L. J.; VANTIL, S.; DOS SANTOS, I.; VIEIRA, E. Uso Do Geoprocessamento Para Análise De Parâmetros Da Qualidade Da Água: Estudo De Caso Na Bacia Hidrográfica Do Rio Piracicaba-MG (Use of GIS for quality parameters water analysis: A case study in the hydrographic basin of Piracicaba-MG river). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 3, p. 812-825, 2017.

GONTIJO, G. A. B.; BORGES, L. A. C.; LAUDARES, S. S. A.; BARROS, V. C. C. Análise do atendimento ao Código Florestal e a regularização ambiental por unidades de bacias hidrográficas. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 4, p.1538-1550, 2019.

MATTOS, J. B.; CRUZ, M. J. M.; PAULA, F. C. F.; SALES, E. F. Mapeamento dos

aspectos hidrogeoquímicos de águas subterrâneas a partir de estatística multivariada e redes neurais artificiais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 3, p. 501-514, 2019.

ORTEGA, D. J.; POMPEO M. L. M. Determinação da pressão ambiental que o uso da terra exerce sobre os recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio Juqueri, no Município de Mairiporã, Estado de São Paulo, Brasil. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**, v. 6, n. 3, p. 264-286. 2017.

PEREIRA, V. C. R.; ALMEIDA, C. N.; DA SILVA, T. M. Diagnóstico hidrogeoquímico na Bacia do Guaripimirim-Macacu (RJ). **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 40, n. 3, p. 82-93, 2017.

SALIS, H. H.; COSTA, A.; VIANNA, J.; ELMIRO, M. Conversão do modelo digital de superfície (MDS) a modelo digital de elevação hidrológicamente condicionado (MDEHC) para a bacia hidrográfica do Córrego do Marinheiro, Sete Lagoas – MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 3, p. 1127-1136, 2018.

SILVA, D. C. C.; FILHO, J. A.; OLIVEIRA, R.; LOURENÇO, R. Aplicação de indicadores ambientais para análise da água em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 2, p. 610-626, 2017.

SILVA, F. L.; OLIVEIRA, E. Z.; PICHARILLO, C.; RUGGIERO, M. H.; COSTA, C. W.; MOSCHINI, L. E. Naturalidade da Paisagem Verificada por Meio de Indicadores Ambientais: Manancial do Rio Monjolinho, São Carlos-SP. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 3, p. 970-980, 2017.

SIQUEIRA, E. C.; VANZELA, L. S. Simulação temporal e espacial do aporte de sedimentos em bacia agrícola no município de Fernandópolis (SP). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 1, p. 15-25, 2018.

SOUZA, J. M. F.; REIS, E. F.; MARTINS, A. S.; SANTOS, A. L. F. Avaliação dos conflitos no uso da terra na bacia hidrográfica do ribeirão Lamarão, Distrito Federal. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 950-964, 2019.

TEIXEIRA, L.; AZEVEDO, F.; DALMAS, F.; SAAD, A. R.; PARANHOS FILHO, A. C.; DE ANDRADE, M. R. M. Fragmentação da paisagem no município de Bragança Paulista-SP. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 3, p. 937-948, 2018.

## MAPEAMENTO DE ÁREAS COM RISCO DE CONTAMINAÇÃO DA ÁGUA SUBTERRÂNEA EM UMA COMUNIDADE RURAL NO SEMIÁRIDO CEARENSE

Antonio P. M. de Brito\*<sup>1</sup>, Ítalo M. de M. Santos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Desenvolvimento Rural, Universidade da Integração Internacional da

Lusofonia Afro-Brasileira, \*e-mail: patrickmeneses675@gmail.com.

<sup>2</sup>Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

**RESUMO:** Esta pesquisa tem como objetivo identificar as áreas que apresentam risco de contaminação da água subterrânea em uma comunidade rural no semiárido cearense. Para isso investigou-se quatro indicadores de vulnerabilidade: uso e ocupação da terra, textura do solo, profundidade do nível freático e taxa de infiltração do solo. A área de estudo apresenta em sua maioria alta e moderada vulnerabilidade de contaminação hídrica. Tanto os indicadores naturais como o antrópico contribuem para o aumento desse risco. A ocupação predominante foi o solo exposto, a textura do solo caracterizou-se em arenosa com permeabilidade de 0,2 a 1,3 cm/min e o nível freático de até 5 m. Contudo, conclui-se que o mapeamento dessas áreas é de suma importância, pois indica os locais da comunidade que carecem de um monitoramento ambiental, para que assim, possa evitar as possíveis contaminações na água.

**Palavras-chave:** Vulnerabilidade. Poluição. Lençol freático.

**ABSTRACT:** This research aims to identify the areas that are at risk of groundwater contamination in a rural community in the semiarid region of Ceará. For this purpose, four vulnerability indicators were investigated: land use and occupation, soil texture, depth of the water table and soil infiltration rate. The study area has mostly high and moderate vulnerability to water contamination. Both natural and anthropic indicators contribute to the increase in this risk. The predominant occupation was exposed soil, the texture of the soil was characterized by sandy with permeability of 0.2 to 1.3 cm / min and the water table of up to 5 m. However, it is concluded that the mapping of these areas is of paramount importance, as it indicates the locations of the community that need environmental monitoring, so that it can avoid possible contamination in the water.

**Keywords:** Vulnerability. Pollution. Groundwater.



## 1 INTRODUÇÃO

A água se constitui como um dos principais elementos que sustenta as formas de vida sobre o planeta Terra. Seu uso é de fundamental importância para as diversas atividades na sociedade. Entretanto, esse bem apresenta distribuição irregular sobre as regiões, tanto por questões ambientais, quanto políticas.

Em consequência da busca indiscriminada e uso irregular, os recursos hídricos estão entre os bens naturais mais ameaçados e impactados. Assim, torna-se necessário os estudos sobre a vulnerabilidade das águas face às diversas formas de contaminação. Dentre as metodologias utilizadas para esses estudos, destacam-se as ferramentas de geoprocessamento, que permitem a identificação e mapeamento dessas atividades potencialmente poluidoras, através dos Sistemas de Informações Geográficas.

Para Amaral e Bayer (2015), as águas subterrâneas estão entre os corpos hídricos mais ameaçados a contaminação, mesmo sendo um recurso vital para o abastecimento econômico e seguro de água potável no meio urbano e rural. Assim, os estudos de vulnerabilidade de águas subterrâneas devem ganhar maior destaque principalmente em regiões áridas e semiáridas, onde a água encontra-se mais limitada. Contudo, esta pesquisa tem como objetivo identificar as áreas que apresentam risco de contaminação da água subterrânea em uma comunidade rural no semiárido cearense.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo corresponde a uma comunidade rural localizada no distrito de Manoel Guedes, município de Maranguape, Ceará. Com base no último censo, a região apresenta cerca de 2.050 habitantes e densidade demográfica de 65,4 hab./km<sup>2</sup>. Para a identificação das áreas com risco à contaminação da água subterrânea, realizou-se uma adaptação da metodologia de Franco *et al.* (2015), tomando como base, a investigação de 4 indicadores de vulnerabilidade: uso e ocupação do solo, textura do solo, profundidade do nível freático e taxa de infiltração (Figura 1). Para tanto, agrupou-se os indicadores em uma equação matemática (Equação 1).

$$VCA = \frac{UOS+TS+PNF+TI}{4} \quad (1)$$

Onde: VCA; vulnerabilidade à contaminação do aquífero. UOS; uso e ocupação do solo. TS; textura do solo. PNF; profundidade do nível freático. TI; taxa de infiltração. O uso ocupação do solo foi determinado por meio de análise espacial. Para isso realizou-se um mapa de cobertura da terra no *software* ArGis 10.2. A delimitação das classes de ocupação do solo foi realizada pelo classificador MaxVer (máxima verossimilhança), que pondera a distância das médias das classes. A vulnerabilidade de cada classe de ocupação foi determinada com base em Franco *et al.* (2015).

O indicador textura do solo foi determinado *in loco*. Para expressar as classes de vulnerabilidade, baseou-se na taxa de permeabilidade de cada fração textural. Indicou-se uma escala de 1 a 5 mediante a permeabilidade das frações, que já são estabelecidas na literatura. Coletaram-se amostras do solo para classificação textural, de acordo com método do diagrama de Feret, descrito por Fernandes (2006).

A profundidade do nível freático foi avaliada em cada ponto de observação. Para isso usou-se uma fita métrica, pois todos os pontos de captação de água encontravam-se a céu aberto. A vulnerabilidade do nível freático baseou-se em Nishiyama (1998). A taxa de infiltração foi determinada mediante a metodologia de Cunha *et al.* (2011) por meio do teste de infiltrômetro de anel simples. O método considera a variação da infiltração acumulada pela variação do tempo, para que assim possa indicar a taxa de permeabilidade do solo. A taxa de permeabilidade foi identificada com adaptações de Franco *et al.* (2015).

### **Figura 1- Valores de referência para os indicadores e classificação do risco de contaminação**

Classe de uso e ocupação	Valor de vulnerabilidade	Textura do solo	Valor de vulnerabilidade
Mata nativa	1	Argila	1
Áreas parcialmente degradadas	2	Siltite	2
Solo exposto	3	Arenosa	3
Área antropizada	4	Areia grossa	4
Atividade agrícola e/ou pecuária	5	Cascalho	5

Profundidade do nível freático (m)	Valor de vulnerabilidade	Taxa de permeabilidade do solo	Taxa de infiltração do solo (cm/s)	Valor de T <sub>p</sub>
≥ 20	1	Muito baixa	≤ 10 <sup>-10</sup>	1
10 a < 20	2	Baixa	10 <sup>-8</sup> a 10 <sup>-9</sup>	2
5 a < 10	3	Moderada	10 <sup>-6</sup> a 10 <sup>-7</sup>	3
2 a < 5	4	Alta	10 <sup>-4</sup> a 10 <sup>-5</sup>	4
≤ 2	5	Elevada	> 10 <sup>-2</sup>	5

Classificação do risco	Escala
Inexistente	1 a 1,9
Baixo	2 a 2,9
Moderado	3 a 3,9
Alto	4 a 4,9
Extremo	5

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a classificação, identificou-se que as maiores formas de ocupação em toda a área de estudo foram solo exposto e agricultura, que caracteriza vulnerabilidade moderada e muito alta para a água subterrânea. Entretanto observou-se no ponto 1 a classe de mata nativa que indica insignificância na vulnerabilidade, e no ponto 4 a ocupação foi as edificações. Com base na distribuição espacial o solo exposto ocupou a maior parte da comunidade, como os intervalos de área entre os pontos de avaliação.

Os resultados indicaram que a maior parte do solo da região apresenta textura arenosa, e, por conseguinte a textura argilosa. Identificou-se que os pontos 2, 4, 5, 6, 8 e 9 apresentaram textura arenosa e os pontos 1, 3 e 7 textura argilosa. Em nenhum dos pontos observou-se classe textural areia grossa/fina e cascalho. Para Lepsch (2011), os solos de textura arenosa apresentam grande quantidade de macroporos apresentando maior taxa de infiltração pela baixa capacidade de retenção de água e adsorção em seus colóides. Assim, esses solos apresentam maior suscetibilidade a carregarem material contaminante para as águas subterrâneas.

Em relação ao nível freático, identificou-se que a maioria dos pontos analisados apresenta fluxo jorrante ascendente, pois se trata de nascentes, portanto o nível freático é menor que 2 m, esse cenário foi observado para os pontos 1, 5, 7, 8 e 9. Essas nascentes encontram-se em uso pelos moradores locais e já foram escavadas. Os demais pontos apresentaram nível freático variando de 2 a 5 m de profundidade. Ressalta-se que a profundidade do nível freático é um parâmetro muito importante para o estudo da vulnerabilidade, uma vez que lençóis rasos (como é caso da área de estudo) apresentam maior suscetibilidade à contaminação.

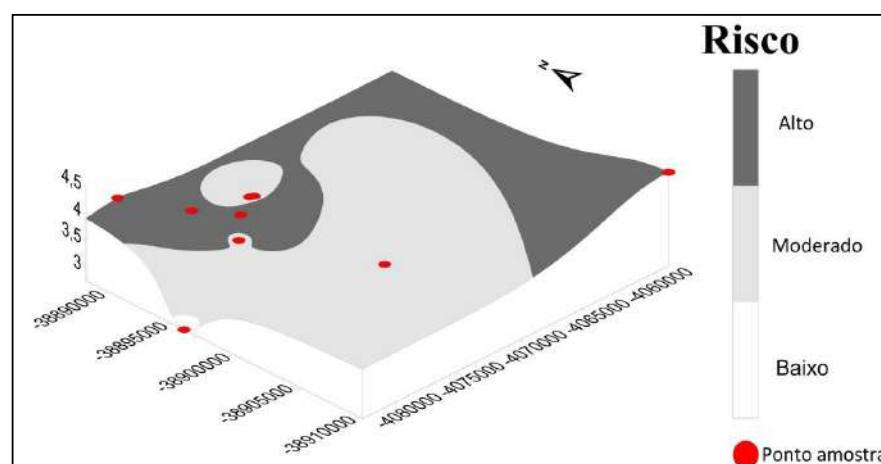
Com base na permeabilidade do solo, observou-se que a velocidade de infiltração básica variou de 0,2 a 1,3 cm/min. Após a conversão, identificou-se que a maior parte dos pontos apresentou taxa de permeabilidade alta (1, 3, 4, 7 e 9) e os pontos 2, 5, 6 e 8 apresentaram permeabilidade muito alta. Salienta-se que a alta e muita alta permeabilidade dos solos refere-se também as classes de vulnerabilidade à contaminação. A taxa de permeabilidade do solo, expressa a taxa de infiltração constante com o tempo (BRANDÃO *et al.*, 2006). Assim, essa permeabilidade expressa a capacidade que o solo tem em transportar a carga contaminante até o nível freático.

**Tabela 1- Resultados dos indicadores de vulnerabilidade e classificação do risco**

Pontos	UOS	TS	PNF	TI	VCA	Risco
1	1 (Mata nativa)	1 (Argiloso)	5 (F. jorrante)	4 (10 <sup>-3</sup> )	2,75	Baixo
2	4 (Edificações)	3 (Arenoso)	3 (5m)	5 (10 <sup>-2</sup> )	3,75	Moderado
3	5 (Agricultura)	1 (Argiloso)	4 (2,5m)	4 (10 <sup>-3</sup> )	3,50	Moderado
4	5 (Agricultura)	3 (Arenoso)	5 (1 m)	4 (10 <sup>-3</sup> )	4,25	Alto
5	3 (Solo exposto)	3 (Arenoso)	5 (F. jorrante)	5 (10 <sup>-2</sup> )	4,00	Alto
6	5 (Agricultura)	3 (Arenoso)	5 (1,5)	5 (10 <sup>-2</sup> )	4,50	Alto

7	3 (Solo exposto)	1 (Argiloso)	5 (F. jorrante)	4 (10 <sup>-3</sup> )	3,25	Moderado
8	3 (Solo exposto)	3 (Arenoso)	5 (F. jorrante)	5 (10 <sup>-2</sup> )	4,00	Alto
9	5 (Agricultura)	3 (Arenoso)	5 (F. jorrante)	4 (10 <sup>-3</sup> )	4,25	Alto

**Figura 2- Espacialização das áreas com risco de contaminação hídrica na área de estudo**



Os resultados indicaram que quase toda a área de estudo apresenta moderado a alto risco de contaminação da água subterrânea. Sendo o alto risco a maior aparição, observou-se essa classe em 5 pontos de análise (Tabela 1). A representação espacial (Figura 2) indicou uma distribuição homogênea do alto risco, enquanto o risco moderado apresentou distribuição mais irregular, ocasionando maior área de impacto. Percebeu-se que o alto risco distribui-se na porção norte e leste da comunidade enquanto o moderado ocupou toda a região central.

#### 4 CONCLUSÕES

Os resultados encontrados pela pesquisa expressaram às áreas localizadas à porção norte e leste com maiores riscos de contaminação do lençol freático. Uma vez que as respectivas áreas apresentam lençol raso, sistemas agrícolas (atividade que apresenta alto potencial de contaminação em todas as fases de manejo), solos de textura arenosa (ou seja, macroporosidade e alta permeabilidade) e velocidade de infiltração rápida (favorecendo a um determinado contaminante em chegar ao nível da água). Contudo, conclui-se que o mapeamento dessas áreas é de suma importância, pois ele indica os locais que devem ser implementadas medidas conservacionistas para evitar as possíveis contaminações. Além de auxiliar as autoridades governamentais nas tomadas de decisões para viabilizar as intervenções e fiscalização na região.

## 5 REFERÊNCIAS

- AMARAL, A. K. N.; BAYER, M. Vulnerabilidade dos aquíferos da sub-bacia do Rio Vermelho: Aplicação do método GOD. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, 17.*, 2015, João Pessoa. **Anais [...]** João Pessoa: INPE, 2015, p. 7405–7412.
- BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo**. 3 ed. Viçosa: Editoria UFV, 2006. 120 p.
- FERNANDES, M. M. **Mecânica dos solos: conceitos e princípios fundamentais**. v. 1. Porto: FEUP Edições, 2006.43 p.
- FRANCO, G. B.; SILVA, D. D. da; MARQUES, E. A. G.; CHAGAS, C. da S.; GOMES, R. L. Análise da vulnerabilidade à contaminação do aquífero freático e da taxa de infiltração do solo da bacia do rio Almada e área costeira adjacente – BA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 3, p. 705-720, 2015.
- LEPSCH, Igor F. **19 Lições de pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 456 p.
- NISHIYAMA, Luiz. **Procedimentos de mapeamento geotécnico como base para análises e avaliações ambientais do meio físico, em escala 1/100.000, aplicados ao município de Uberlândia – MG**. 1998. 116 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

## MONITORAMENTO DE AVIFAUNA EM PARQUE EÓLICO

Marilângela da S. Sobrinho\*<sup>1</sup>, Edilson H. C. Filho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Superintendência Estadual do Meio Ambiente, \*e-mail: mari1000silva@gmail.com.

**RESUMO:** A energia eólica é uma alternativa para reduzir o consumo de combustíveis fósseis, os quais estão relacionados com as alterações climáticas. No entanto, os parques eólicos ocasionam impactos ambientais, especialmente sobre a avifauna. Este estudo apresenta os resultados de quatro campanhas de monitoramento de aves, realizadas em 2019, contemplando a sazonalidade, através do registro visual e auditivo das espécies. A partir dos dados coletados foram calculados o esforço amostral, parâmetros de riqueza e abundância das espécies e índice de diversidade. Além disso, foi utilizado o teste de risco de colisão, de forma análoga à metodologia de Avaliação de Risco de fauna de Aeródromos-RBAC n° 164/2015. De acordo com os resultados, a comunidade de aves é rica e diversa, sendo indentificadas 160 espécies, incluindo endêmicas e migratórias. Apenas uma espécie (*Eupsittula cactorum* – periquito-da-caatinga) possui risco alto para a colisão. Verificou-se ainda, que as espécies mais comuns e abundantes foram *Caracara plancus*, *Coragyps atratus* e *Vanellus chilensis*.

**Palavras-chave:** Monitoramento. Avifauna. Eólica.

**ABSTRACT:** Wind energy is an alternative to reduce the consumption of fossil fuels, which are related to climate change. However, wind farms cause environmental impacts, especially on avifauna. This study presents the results of four bird monitoring campaigns, carried out in 2019, considering seasonality, through the visual and auditory recording of species. From the collected data, the sampling effort, parameters of species richness and abundance and diversity index were calculated. In addition, the collision risk test was used, analogous to the Aerodromes-RBAC fauna risk assessment methodology n ° 164/2015. According to the results, the bird community is rich and diverse, with 160 species identified, including endemic and migratory species. Only one species (*Eupsittula cactorum* - caatinga parakeet) has a high risk of collision. It was also found that the most common and abundant species were *Caracara plancus*, *Coragyps atratus* and *Vanellus*

*chilensis*.

**Keywords:** Monitoring. Birdlife. Wind.

## 1 INTRODUÇÃO

Devido as características dos ventos no Nordeste, houve uma rápida expansão do potencial eólico, o que levou a redução da importação de energia elétrica nessa região (ENERGIA, 2016). No entanto, apesar dos benefícios, a implantação e operação das turbinas eólicas ocasionam impactos ambientais. De acordo com Reis (2009), mesmo as modernas turbinas com baixo nível de rotações, têm um impacto significativo nos pássaros e nos morcegos. Esse risco varia, claro, segundo as regiões e as zonas.

Assim, é extremamente importante o monitoramento dos impactos sobre a avifauna onde estão instalados esses empreendimentos. Ele faz parte dos procedimentos de licenciamento ambiental e é essencial para preservar a biodiversidade e o habitat de diversas espécies animais (AMBPLUS, 2020). Ainda, através do monitoramento ambiental, se torna possível avaliar e entender as alterações às quais estão submetidas as comunidades de fauna estudadas, e assim, planejar e colocar em prática ações que visam minimizar e mitigar problemas (ECOSSIS, 2020).

De acordo com revisões de Silva (2019), as aves apresentam representantes em quase todos os ambientes terrestres, algumas espécies possuem alta tolerância a alterações antrópicas, se estabelecendo em ambientes alterados, outras são mais exigentes e só ocorrem em áreas com baixa ou nenhuma influência antrópica.

Desse modo, ainda de acordo com o autor, tais características fazem com que a avaliação da riqueza, composição e características biológicas permitam que sejam aferidas informações sobre o habitat, tornando o monitoramento uma ferramenta importante para avaliar a qualidade e possíveis distúrbios ambientais, sendo assim consideradas bioindicadoras. Neste contexto, este trabalho avalia o monitoramento da fauna realizada no ano de 2019 em um parque eólico do Ceará.



## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A central eólica é composta por 11 aerogeradores, localizados no município de Icapuí, na porção Nordeste do estado do Ceará, em uma região costeira, limitando-se ao Sul e Oeste pelo município de Aracati/CE e a Sudeste pelo município de Tibau/RN. Foram realizadas 04 campanhas, nos meses de março/abril (8 dias), junho (6 dias), setembro (9 dias) e dezembro (13 dias), para o levantamento da avifauna durante o ano de 2019, totalizando 36 dias.

Para realizar o censo da avifauna foram traçados 9 transectos com extensão de 1 Km cada. Os transectos foram percorridos duas vezes ao dia (manhã e tarde), parando-se na trilha por 15 minutos, em pontos equidistantes de 200 metros, para registrar visual e/ou auditivamente as espécies encontradas. Assim totalizou 6 pontos equidistantes com 90 minutos de realização de censo em cada transecto, em cada turno. Considerando essas informações, o esforço total foi de 1.620 minutos por campanha.

Os dados coletados foram tratados estatisticamente e calculados o esforço amostral, parâmetros de riqueza e abundância das espécies, índice de diversidade e demais análises. Também foi realizado o teste de risco de colisão para as espécies de avifauna de forma análoga à metodologia de Avaliação de Risco de fauna em Aeródromos- RBAC nº 164/2014.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando as quatro campanhas realizadas de avifauna, não foram registradas grandes variações na riqueza e composição da comunidade de aves. A primeira campanha apresentou 106 espécies, a segunda 109, a terceira 91 espécies e na quarta registrou 107 espécies, obtendo-se, após compilação de todos os dados o registro de 25 ordens, distribuídas em 47 famílias e 160 espécies. Com destaque para os passeriformes, grupo com maior riqueza e abundância. Esse grupo são uma das principais ordens de aves neotrópicas, apresentando uma imensa diversidade de espécies, que são de ampla distribuição geográfica, hábitos generalistas, encontradas em ambientes variados. Desse total 84,91% são residentes, desse valor 3,14% são

endêmicas e apenas 11,95% são visitantes do Norte.

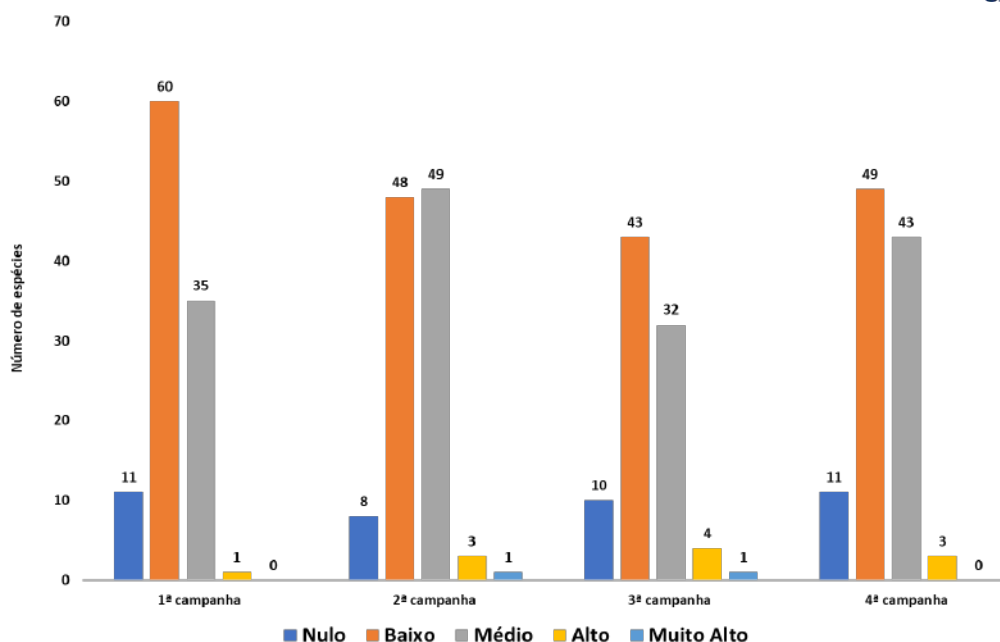
De forma geral, as espécies mais abundantes e frequentes nas quatro campanhas são *Eupsittula cactorum* (periquito-da-caatinga) e *Mimus gilvus* (sabiá-da-praia). Por conta do período de execução da primeira e quarta campanhas (março e dezembro/2019), houve registro de espécies migratórias e ameaçadas de extinção, sendo a maioria visitantes do Norte e, portanto, com presença sazonal na região.

Dentre as espécies endêmicas, cita-se *Paroaria dominicana* (cardeal-do-nordeste), *Eupsittula cactorum* (periquito-da-caatinga) e *Nothura boraquira* (codorna-do-nordeste). Essa última registrada exclusivamente na segunda campanha. A ocorrência de cinco espécies ameaçadas de extinção a nível nacional foi registrada, com base na Portaria MMA nº 444/2014. *Charadrius wilsonia* (batuíra-bicuda) e *Sterna dougallii* (trinca-réis-róseo) são enquadradas na Categoria Vulnerável, *Limnodromus griseus* (maçarico-de-costas-brancas) e *Calidris canutus* (maçarico-de-papo-vermelho) são enquadradas como Criticamente Ameaçadas e *Calidris pusilla* (maçarico-rasteirinho) é considerado como Em Perigo. *Calidris canutus* e *C. pusilla* são ainda consideradas como Quase Ameaçadas em nível internacional (IUCN, 2019).

As espécies ameaçadas relatadas acima são migratórias neárticas, ou seja, reproduzem-se na América do Norte e passam o período não reprodutivo na região Neotropical, usando os ecossistemas brasileiros somente durante o período não reprodutivo.

Considerando o risco de colisão, uma espécie se mantém como de risco “Alto” ou “Muito Alto” em todas as campanhas: *Eupsittula cactorum* (periquito-da-caatinga). Os demais táxons e seus respectivos riscos de colisão são contemplados no resumo da Figura 1 abaixo. Verifica-se que durante as campanhas para a maioria das espécies, o risco de colisão foi médio e baixo.

**Figura 1 - Número de espécies por classificação de risco x campanha**



Fonte: Elaborado pelos autores.

#### 4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados do monitoramento, verifica-se que a comunidade de aves é rica e diversa. Ao longo do primeiro ano de monitoramento já foi possível registrar 160 das 451 espécies registradas para todo o estado do Ceará. Em adição, foi possível verificar diferenças na comunidade de aves ao longo das estações amostradas.

Na primeira campanha, por exemplo, foram registradas espécies migratórias (ex. *Charadrius semipalmatus*, *Pluvialis squatarola*) não registradas em nenhuma outra campanha. Há de se registrar também as espécies constantes e com alta abundância: *Eupsittula cactorum*, por exemplo. Embora endêmica da Caatinga, a espécie foi registrada em todas as campanhas e com alto número de indivíduos registrados.

Considerando dados coletados previamente para o grupo das aves, não foi possível verificar impactos relacionados à implantação e operação do parque eólico em operação, uma vez que a comunidade faunística continua ocupando a área e nenhuma espécie deixou de ser registrada. Por fim, o registro de carcaças foi muito baixo e de espécies comuns e extremamente abundantes por exemplo as espécies *Caracara*

*plancus*, *Coragyps atratus* e *Vanellus chilensis*. Quanto ao risco de colisão, a maior parte das espécies possuem um risco baixo e médio.

## 5 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC. Gerenciamento do Risco da Fauna nos Aeródromos Públicos. **Regulamentos Brasileiros de Aviação Civil-RBAC**, nº 164, Emenda nº 00, 2014.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Portaria MMA nº 444, de 17 de dezembro de 2014. Reconhece as espécies da fauna brasileira ameaçadas de extinção. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 245, 18 dez. 2014. Seção 1, p. 121.

ECOSSIS Soluções Ambientais. **Monitoramento de Fauna**. Disponível em: <https://ecossis.com/consultoria-ambiental/monitoramento-de-fauna/>. Acesso em: 01 out. 2020.

ENERGIA já abastece mais de 30% do Nordeste. **Diário do Nordeste**. Caderno Negócios, Página modificada em 20 jun. 2016. Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/economia/2016/06/energia-eolica-ja-abastece-mais-de-30-do-nordeste.html>.

GRUPO AMBPLUS. **O que é monitoramento da fauna silvestre?** Disponível em: <https://ambplus.com.br/o-que-e-o-monitoramento-da-fauna-silvestre/>. Acesso em: 01 out. 2020.

IUCN. **International Union for Conservation of Nature**. 2019. Disponível em: <http://www.iucnredlist.org/search>. Acesso em: 11 abr. 2019.

REIS, P. Energia eólica impactos e competitividade. **Portal Energia-Energias Renováveis**, 2009. Disponível em: <https://www.portal-energia.com/energia-eolica-impactos-e-competitividade/>. Acesso em: 18 out. 2020.

SILVA, Guilherme Lima da. **Análise temporal da comunidade de aves em um fragment de vegetação natural em unidade de manejo florestal**. 2019. 76 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2019.

## MONITORAMENTO ONLINE DE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS PARA USO AGRÍCOLA

Caíke D. N. Silva<sup>\*1</sup>, José A. G. Lima<sup>1</sup>, Luís G. C. Silva<sup>2</sup>, Wyara M. C. S. Pontes<sup>3</sup>,  
Kevin P. Amorim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Centro Universitário Internacional UNINTER, Escola Superior Politécnica, \*e-mail: caikedamiao@gmail.com.

<sup>2</sup>Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

<sup>3</sup>Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará.

**RESUMO:** O conceito de internet das coisas é uma nova perspectiva para o uso da internet, onde objetos e dispositivos do cotidiano estão conectados à rede, seja para prover serviços ou para disponibilizar informações. Neste estudo a aplicação deste conceito é utilizada para o monitoramento meteorológico visando promover o acesso a dados relevantes para o planejamento agrícola, ou seja, geração de informação que auxilie na tomada de decisão. Um protótipo de estação meteorológica conectada à internet foi desenvolvido. Sensores de baixo custo foram utilizados para viabilizar a construção do protótipo que mede as variáveis umidade, temperatura, pressão atmosférica, iluminância e radiação ultravioleta. A aquisição e o monitoramento em tempo real das variáveis são feitos por meio de uma plataforma *online*. Resultados preliminares indicam que o protótipo é uma solução prática e barata para o monitoramento ambiental direcionado para pequenos produtores.

**Palavras-chave:** Monitoramento Ambiental. Internet das Coisas. Agrometeorologia.

**ABSTRACT:** The concept of internet of things is a new perspective for the use of the internet, where everyday objects and devices are connected to the network, either to provide services or to provide information. In this study, the application of this technology is used for meteorological monitoring aiming to promote access to relevant data for agricultural planning, i.e., the generation of information that helps in decision making. A prototype of a weather station connected to the internet was developed. Low-cost sensors were used to enable the construction of the prototype that measures the variables humidity, temperature, atmospheric pressure, illuminance and ultraviolet radiation. The

acquisition and real-time monitoring of variables is done through an online platform. Preliminary results indicate that the prototype is a practical and inexpensive solution for environmental monitoring targeted at small producers.

**Keywords:** Environmental Monitoring. Internet of Things. Agrometeorology.

## 1 INTRODUÇÃO

Utilizar-se dos conhecimentos da meteorologia em todas suas formas para melhorar o uso dos recursos agrícolas, principalmente água e solo, para produzir o máximo de alimentos evitando o desperdício e o abuso dos recursos da terra é o principal objetivo da agrometeorologia (SMITH, 1975). Conhecer as relações entre as condições físicas do ambiente e as diversas culturas agrícolas permite identificar a influência climatológica e do tempo no desenvolvimento e produtividade das culturas (MONTEIRO, 2009).

De acordo com Ramos *et al.* (2018), os sistemas de suporte à decisão inseridos no contexto da meteorologia promovem acesso às informações relativas ao tempo e condições climáticas e podem contribuir para o planejamento da produção e garantir a segurança da produção alimentar. Além disso, a usabilidade destes sistemas de medição pode ser melhorada, tornando a utilização mais fácil e de maneira remota por meio de comunicação via internet (ALMEIDA NETO *et al.*, 2018).

Diante disso, o objetivo principal deste trabalho é utilizar sensores de baixo custo para o monitoramento de variáveis ambientais e promover a aquisição *online* dos dados por meio da Internet das Coisas (IoT), integrando o sistema de medição com a rede de internet e disponibilizando as informações através de uma plataforma *web*. A partir do desenvolvimento do projeto espera-se como resultado um sistema de medição que possa ser utilizado por qualquer produtor agrícola que possua um *smartphone* ou computador para visualizar as informações em tempo real e o histórico dos dados, funcionando como uma ferramenta de suporte no planejamento e condução dos cultivos.

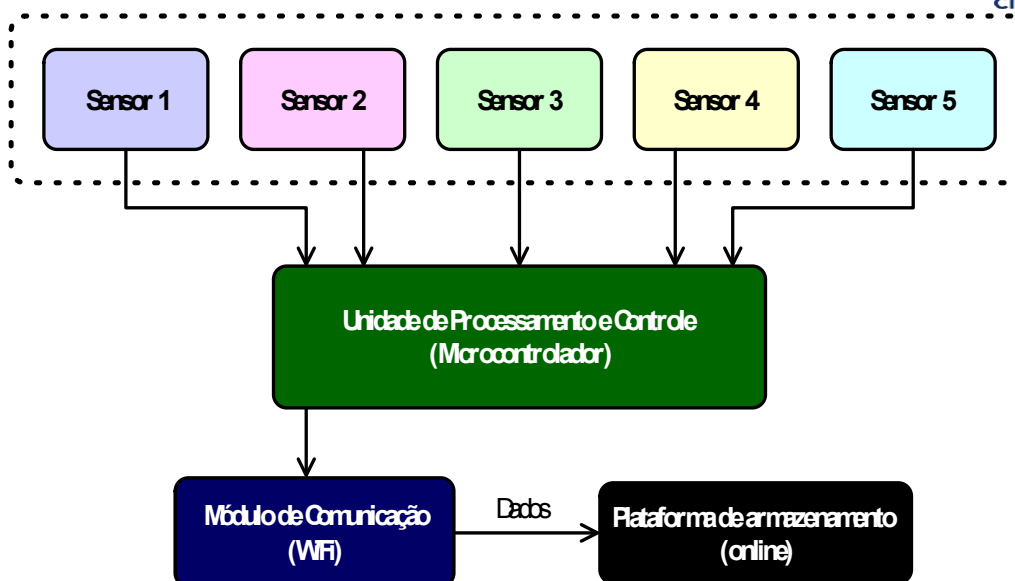
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O modelo proposto consiste em um sistema eletrônico embarcado provido de sensores que permitem coletar dados de temperatura, umidade, iluminância, radiação ultravioleta e pressão atmosférica, variáveis relevantes para aplicações de meteorologia agrícola; além de possibilitar o envio dos dados para uma plataforma *online* de armazenamento.

A plataforma de aquisição de dados usada foi a ThingSpeak, uma plataforma de IoT que permite agregar, visualizar e analisar fluxos de dados em tempo real na nuvem, ou seja, possui armazenamento *online*. Utilizamos a versão gratuita da ThingSpeak, que apesar das limitações é satisfatória para análise inicial de viabilidade do sistema. Entre os materiais utilizados temos: os sensores de luminosidade TSL2561, de radiação ultravioleta UVM-30A, de umidade e temperatura DHT11, de pressão barométrica BMP280; o módulo de comunicação WiFi ESP8266/ESP-01; além da placa de desenvolvimento Arduino NANO.

O protótipo desenvolvido foi alimentado através de duas fontes, uma para alimentação do Arduino NANO, de 5V e 1A, modelo similar ao utilizado em alguns carregadores de *smartphones*, e outra para alimentação dos sensores e módulo de comunicação WiFi, de 3,3V e 1A, adaptada a partir de uma fonte de 5V e 1A. Alguns sensores e módulo de comunicação WiFi requerem o nível de tensão de 3,3V para funcionamento e o ESP8266/ESP-01 frequentemente demanda correntes mais altas, por isso a necessidade de alimentação separada do Arduino. Para realização do teste e coleta de dados, o sistema foi colocado em ambiente aberto (ao ar livre), os sensores de luminosidade e radiação ultravioleta foram dispostos na posição de 180° em relação ao solo, foi conferido se o sinal da rede de internet sem fio WiFi estava disponível no local do experimento de teste para que houvesse conexão para envio dos dados à plataforma de aquisição *online*.

**Figura 1 - Arquitetura do sistema de monitoramento**



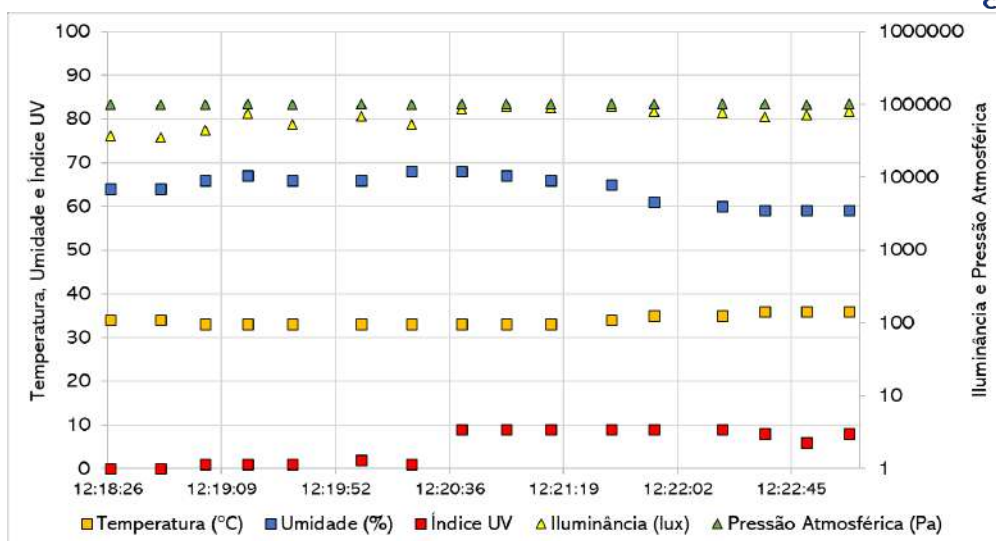
Fonte: Elaborado pelos autores.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na plataforma ThingSpeak foi possível observar os dados através da página de monitoramento de canais, que são campos específicos para a aquisição de cada variável, neste caso, as variáveis medidas pelos sensores do sistema de monitoramento desenvolvido. Os dados de medição dos sensores foram enviados à plataforma de aquisição e no decorrer do experimento foram também monitorados em tempo real. A taxa de recebimento dos dados (o intervalo entre uma medição e outra recebida) foi, em média, 15 segundos. A seguir, na Figura 2 podemos visualizar o Gráfico de temperatura, umidade, índice UV, iluminância e pressão atmosférica para um intervalo de tempo do dia 15/02/2020, dados obtidos através da plataforma *online*. Já na Figura 3 podemos verificar o *layout* da tela de monitoramento das variáveis medidas.

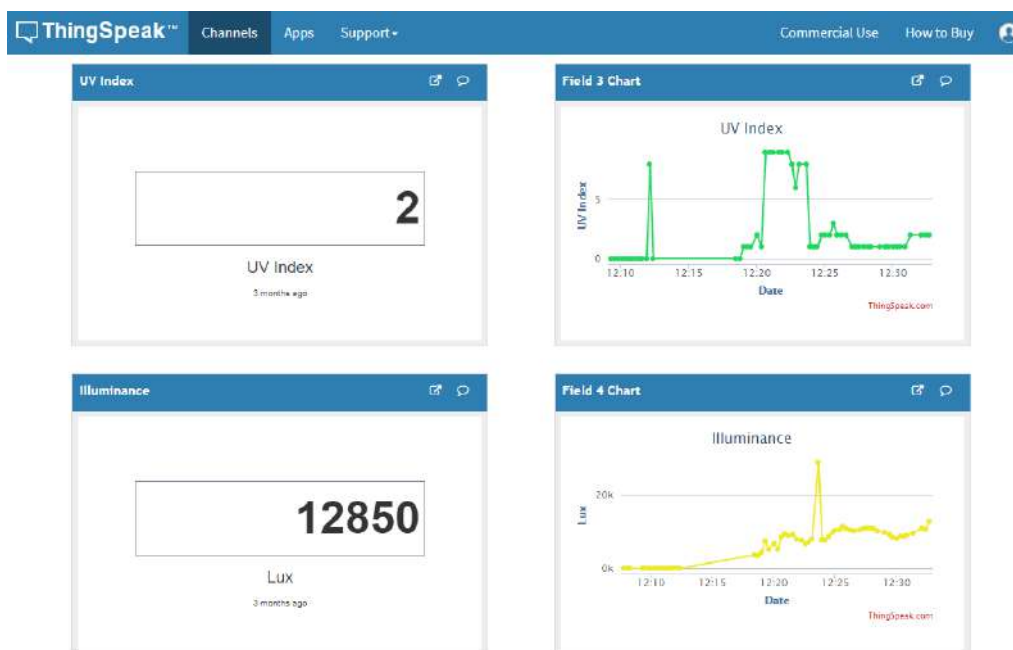
**Figura 2 - Gráfico das variáveis monitoradas pelo protótipo**





Fonte: Elaborado pelos autores.

**Figura 3 - Tela de monitoramento da plataforma ThingSpeak mostrando índice UV e iluminância**



Fonte: Elaborado pelos autores.

#### 4 CONCLUSÕES

Para fins de uso na agrometeorologia, os dados medidos poderão ser tratados das mais variadas formas, seja considerando a média diária para cada uma das variáveis, apontando os máximos e mínimos ou verificando os horários de maior incidência de iluminação solar ou radiação ultravioleta, isso vai depender da atividade agrícola ou cultura produtiva. Todas essas informações podem ser obtidas através da plataforma de aquisição de dados *online* que armazena os dados coletados através da estação experimental.

Levando em consideração o custo para desenvolvimento do sistema, apresenta-se como uma solução de baixo custo se comparada com as estações meteorológicas disponíveis no mercado. Mas é claro que há limitações e possíveis erros de medição. Porém, para pequenos produtores pode ser uma solução prática para monitorar seu ambiente produtivo e, de certa forma, nortear o planejamento de sua cultura.

Muitas melhorias devem ser aplicadas ao projeto, como a calibração dos sensores por meio de equipamentos de referência, a construção de encapsulamentos para uso dos sensores em condições ambientais diversas, a criação de uma plataforma *web* direcionada para facilitar o uso dos produtores e a integração de dados (*data fusion*) para auxílio à tomada de decisão.

## 5 REFERÊNCIAS

CORIOLOANO, D. L.; ALMEIDA NETO, E. L. de; dos SANTOS, L. C.; ALMEIDA, V. V.; LISBOA, H. S.; SANTOS, R. R.; de RESENDE, I. T. F.; FIGUEIREDO, R. T.; ALSINA, O. S. Estação Meteorológica WiFi de Baixo Custo Baseado em ThingSpeak. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7. 2018. Gramado. **Anais [...]** Gramado: ABENS, 2018.

MONTEIRO, Jose Eduardo Boffino de Almeida. **Agrometeorologia dos Cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola**. 1 ed. Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, 2009. 546 p.

RAMOS, H. E. dos A.; BLAINSKI, É.; de MEDEIROS, T. T. B.; DA SILVA, B. F. P.; PANTOJA, P. H. B.; MAIA, I, F. Avanços e inovações tecnológicas no monitoramento agrometeorológico: Sistema Agroconnect. **Incaper em Revista**, v. 9, p. 90-96, 2018.

SMITH, L. P. **Methods in Agricultural Meteorology**. 4 ed. Cambridge: Cambridge



University Press, 1975. 210 p.

## **O CICLO URBANO DA ÁGUA: MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS**

Edilson H. C. Filho\*<sup>1</sup>, Carlos A. M. Júnior<sup>2</sup>, Liliane F. G. Lira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Alterações Climáticas e Políticas de Desenvolvimento Sustentável, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, \*e-mail: edilsonholanda@gmail.com.

<sup>2</sup>Superintendência Estadual do Meio Ambiente.

**RESUMO:** O setor da água é um dos que mais sofre com as alterações climáticas. É esperado que eventos de seca e de cheias aconteçam com maior frequência em algumas regiões e as características das zonas urbanas, como a impermeabilização excessiva, por exemplo, amplificam os prejuízos decorrentes desses acontecimentos. Assim, o presente artigo faz uma revisão das possibilidades de mitigação e adaptação do ciclo urbano da água, apresentando algumas maneiras como as cidades podem crescer de forma sustentável, mantendo a água em qualidade e quantidade para as próximas gerações. Apesar do setor da água contribuir com a emissão de gases com efeito de estufa, necessitando passar por medidas de mitigação, é a vertente da adaptação que ganha destaque, especialmente o reuso de água residual tratada e as infraestruturas verdes, contribuindo para o aumento da resiliência das cidades no que diz respeito a disponibilidade hídrica e proteção contra os eventos de inundação.

**Palavras-chave:** Alterações climáticas. Reuso. Telhados verdes.

**ABSTRACT:** The water sector is one of the most affected by climate change. Drought and flood events are expected to happen more frequently in some regions and the characteristics of urban areas, such as excessive waterproofing, for example, amplify the losses resulting from these events. Thus, this article reviews the possibilities of mitigating and adapting the urban water cycle, presenting some ways in which cities can grow sustainably, maintaining water in quality and quantity for future generations. Although the water sector contributes to the emission of greenhouse gases, needing to undergo mitigation measures, it is the adaptation aspect that stands out, especially the reuse of treated waste water and green infrastructure, contributing to the increase of resilience of

cities with regard to water availability and protection against flood events.

**Keywords:** Climate change. Reuse. Green roof.

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo da última década, as alterações climáticas têm constituído um dos grandes temas da atividade científica ligada às ciências da terra. O debate sobre as medidas suscetíveis de influenciar positivamente as variáveis associadas ao fenómeno das alterações climáticas (mitigação) e sobre as medidas que poderão atenuar os seus efeitos mais gravosos para as sociedades humanas (adaptação) tem hoje um lugar cimeiro na agenda política europeia e mundial (ALCOFORADO *et al.*, 2009).

Essas alterações pelas quais o sistema climático tem passado possuem causas tanto naturais quanto antrópicas, principalmente desde a Revolução Industrial, no século 19, com a queima de combustíveis fósseis que liberam para atmosfera gases com efeito de estufa (GEE), e devido a intensidade das emissões e o tempo de residência desses gases, eles se acumulam, tornando mais espessa a atmosfera que passa a absorver uma quantidade maior de radiação infravermelha. Logo, a Terra fica mais aquecida (FILIPPINI *et al.*, 2017; GODINHO, 2015; IPCC, 2013; NOBRE, 2011; SOUZA; CORAZZA, 2017).

Como consequência do aumento da temperatura da atmosfera, destaca-se o aumento do nível do mar, o derretimento das geleiras e a modificação no regime de chuvas (IPCC, 2013; SANTOS, 2012). Segundo Jiménez Cisneros *et al.* (2014), entretanto, essas consequências, principalmente as relacionadas com o setor da água, variam regionalmente. Para esses autores, a precipitação média global, por exemplo, aumentará em um planeta mais quente, mas com variações substanciais, incluindo algumas reduções de região para região.

Nos centros urbanos, por sua vez, devido a elevada densidade populacional, o alto grau de impermeabilização, a falta de um eficiente sistema de drenagem de águas pluviais e de coleta e tratamento de esgotos, as consequências das alterações climáticas são ainda mais graves em decorrência, dentre outros, do aumento dos eventos de

inundação. Especificamente sobre a disponibilidade de água, as projeções das alterações climáticas mostram uma redução das fontes de recursos hídricos, tanto superficial quanto subterrânea, especialmente nas regiões subtropicais, com, aproximadamente, 7% da população mundial exposta a 20% menos fontes de água (JIMÉNEZ CISNEROS *et al.*, 2014).

Considerando que a água é vital para a sobrevivência da maioria dos seres vivos e é essencial para grande parte das atividades econômicas; Que 54% da população mundial vive em cidades e que até o ano de 2050 esse número pode chegar a 66% (UNRIC, 2016). E que os eventos de inundação tendem a aumentar em alguns locais, seja devido ao aumento do nível do mar, à ocorrência de intensas precipitações ou pela ausência de infraestruturas nas cidades. Assim, diante desse cenário, o presente artigo pretende descrever o ciclo urbano da água, apresentando a sua relação com as alterações climáticas e, principalmente, as possibilidades de mitigação e adaptação, de forma a manter a água em quantidade e qualidade para os seus mais diversos fins e permitir que as cidades evoluam sustentavelmente.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração deste artigo foi realizado um levantamento bibliográfico através da leitura de artigos científicos e livros publicados sobre o tema em estudo, incluindo dissertações de mestrado e doutorado. A pesquisa foi feita na plataforma eletrônica “Web of Science” usando-se palavras-chave tais como: “wastewater reuse”, “green roof”, “adaptation and mitigation to climate change”, “water urban cycle”, “urban drainage”, etc. Após essa primeira pesquisa, buscou-se pelas referências citadas nas bibliografias analisadas.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 O ciclo urbano da água

O ciclo urbano da água nada mais é do que o saneamento básico contribuindo com o ciclo natural desse recurso e, como vários outros setores da economia, tanto contribui como é afetado negativamente pelas alterações climáticas e, portanto, precisa passar por medidas transformadoras no sentido de mitigar os efeitos negativos dele resultante e passar por adaptações que permitam lidar com as modificações ambientais inevitáveis.

Ao analisar o ciclo da água percebe-se o quão ele está suscetível às alterações climáticas. No que concerne ao ciclo urbano, especificamente, essa susceptibilidade é ainda maior. Nas áreas urbanas, os efeitos das alterações climáticas podem ser agravados pelas características próprias das cidades e pelas atividades antrópicas, que alteram a composição da atmosfera e o comportamento das variáveis meteorológicas, como a radiação, a temperatura, a circulação do ar e mesmo a precipitação. Por esta razão e também devido à elevada concentração de pessoas, infraestruturas e atividades, as áreas urbanas são particularmente vulneráveis aos efeitos das alterações climáticas (ALCOFORADO *et al.*, 2009).

No que concerne ao de tratamento de efluentes, considerando tratar-se de água contaminada, a variabilidade da quantidade e da qualidade desse líquido interfere diretamente na eficiência desses sistemas, que também contribuem para as emissões de GEE, principalmente com gás carbônico (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), que são liberados durante as várias operações de tratamento. Além das emissões diretas, importa ainda considerar as emissões indiretas de GEE associadas ao consumo de energia, decorrente da queima de combustíveis fósseis e de outras emissões indiretas relacionadas à produção e transporte dos produtos químicos, transporte e destino de lamas e dos subprodutos do tratamento (CARMO, 2013; RUTKOWSKI; SANCHES-PEREIRA, 2009).

Quanto aos sistemas de drenagem urbana, conforme Butler e Davies (2011) citado por dos Santos (2014), tem-se que dentre as consequências das alterações climáticas, o que causa maior impacto são os eventos mais intensos de precipitações, uma vez que sobrecarregam os sistemas, devido ao maior escoamento superficial gerado e com maior velocidade; podem resultar em uma maior deterioração dos componentes do sistema; ocasionam maior carreamento e deposição de poluentes; prejuízo na

qualidade dos recursos hídricos devido ao maior volume de descargas; e maior frequência de inundações. Considerando, portanto, a importância do saneamento, principalmente porque envolve um recurso natural indispensável à vida, a água, é imprescindível que a iniciativa privada e o setor público comecem desde já a projetar e implementar as medidas necessárias para tornar esse setor mais sustentável.

### 3.2 Mitigação e adaptação dos sistemas de tratamento de águas residuais

Embora os sistemas de tratamento de águas residuais não sejam a principal fonte de GEE, Carmo (2013) discute sobre a importância do controle de emissões desse setor, tendo em vista a crescente preocupação com as alterações climáticas, com os tratados internacionais e com a maior exigência na regulação das emissões.

Para mitigar os efeitos dessa atividade, no trabalho realizado por Bilotta e Ross (2016), concluiu-se que a recuperação do biogás gerado na Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR) estudada resultaria em benefícios econômicos e ambientais, pois a produção de metano foi de 1.427,2 m<sup>3</sup>/dia, gerando energia elétrica disponível em torno de 65.280,3 kWh/mês (59% da demanda média mensal de energia da estação) e uma emissão real evitada de 946,3 kgCH<sub>4</sub>/dia e 17.192,6 kgCO<sub>2</sub>eq/dia.

Outra medida de mitigação para os sistemas de tratamento de efluentes é a instalação de telhados verdes, uma vez que estes podem atuar como sequestradores de poluentes (TASSI *et al.*, 2014), inclusive CO<sub>2</sub> (UHMANN; TAVARES, 2017). Em Portugal, existe a estação de Alcântara como exemplo, onde há tais coberturas verdes (LEANDRO, 2011). Para além das contribuições com emissão de GEE, analisando a influência das alterações climáticas nos sistemas de tratamento de efluentes, tem-se que podem ocorrer mudanças na qualidade e quantidade das águas residuais que entram nas estações de tratamento (devido ao excesso ou falta de chuva), com implicações no funcionamento, nos processos de tratamento e na estrutura das estações pela exposição a fenômenos extremos (CARMO, 2013). As interferências na eficiência do tratamento podem levar ao lançamento de efluentes fora do padrão estabelecido pela legislação vigente, comprometendo assim a qualidade ambiental do recurso hídrico receptor.

Diante disso, as medidas de adaptação se tornam necessárias e elas podem



acontecer tanto a montante da estação de tratamento quanto na sua própria estrutura. Como exemplo de adaptação a montante tem-se o controle dos caudais pluviais, especialmente nos locais onde o esgoto e as águas pluviais são transportados numa mesma conduta (sistema unitário), com sérias implicações negativas quando da ocorrência de eventos mais frequentes e intensos de precipitações, pois uma maior quantidade de efluente chegará à ETAR, a qual não fora projetada para esse excesso de volume. Assim, as soluções de controle na origem de águas pluviais, técnicas adotadas com o intuito de reduzir os caudais de ponta e o volume de água recebido pelos coletores, por meio de processos de infiltração e retenção, parecem ser medidas adaptativas adequadas. Dentre essas técnicas pode-se citar as bacias de retenção, valas cobertas por vegetação, trincheiras e telhados verdes (CARMO, 2013; MATOS, 2006).

Além das técnicas de controle na origem, medidas mais efetivas de separação das águas também são desejáveis, com redes separativas de águas residuais e águas pluviais. Ou ainda estruturas de reserva a montante das estações para servir como componente de regulação. Em eventos de fortes chuvas, os reservatórios podem armazenar parte da água e enviar lentamente para as ETAR's (CARMO, 2013; MATOS, 2006). Sistemas de monitorização dinâmica que auxiliem processos de tomada de decisão em tempo real são também importantes medidas adaptativas no que diz respeito a uma gestão segura do tratamento de acordo com flutuações na quantidade e qualidade dos efluentes (CARMO, 2013).

Além de mudanças nas infraestruturas, o setor do saneamento também pode contribuir para a adaptação de outros setores como a agricultura, as florestas, a energia, a produção industrial, os ecossistemas, a biodiversidade e as zonas costeiras. O reuso de efluentes tratados é um bom exemplo de como o setor de esgotamento sanitário pode contribuir para a adaptação da agricultura, diminuindo a demanda por água "bruta" nos processos de irrigação e aumentar a oferta de água para consumo humano, principalmente nas regiões onde há previsão de aumento dos eventos de seca, como no nordeste do Brasil, conforme relata Jiménez Cisneros *et al.* (2014). Além desse benefício, a reutilização de águas residuais tratadas evita ou diminui o lançamento de efluentes em corpos d'água, reduzindo a poluição hídrica. Nas florestas, a reutilização de águas residuais pode ser usada no combate a incêndios. Na indústria, pode ser utilizada em

processos que não requeiram água com elevado grau de pureza. Nas cidades, pode ser usada para paisagismo e atenuação dos efeitos das ilhas de calor com a construção de lagos artificiais.

### 3.3 Mitigação e adaptação dos sistemas de drenagem de águas pluviais

Para a adaptação das cidades a inundações mais frequentes e mais intensas decorrentes das alterações climáticas e da crescente urbanização, as soluções sustentáveis de drenagem pluvial urbana ganham importância (CUNHA *et al.*, 2017). Elas são projetadas para gerenciar os riscos ambientais decorrentes do escoamento urbano e contribuir para o aprimoramento ambiental, maximizando a biodiversidade e o bem-estar das populações (WOODS-BALLARD *et al.*, 2007). Uma das soluções é o uso dos telhados verdes, que têm se tornado, nesse contexto, uma valiosa opção de adaptação para o meio urbano capaz de lidar com essas incertezas no domínio da água e ganham cada vez mais destaque devido aos seus múltiplos benefícios (BALDESSARr, 2012; CONNELLY; HODGSON, 2015; SILVA; FLORES-COLEN; ANTUNES, 2017; TONIAL *et al.*, 2017).

Um dos principais benefícios associados aos telhados verdes está associado ao controle quantitativo do escoamento superficial e assim, uma técnica capaz de auxiliar no controle de inundações, uma vez que promove o aumento das áreas permeáveis nas cidades (TASSI *et al.*, 2014). Uma outra análise de benefício que se pode fazer é que essas coberturas contribuem para a sustentabilidade hídrica local. Por meio do aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis, pode-se alcançar uma redução do consumo de água. Os usos para essa água reaproveitada podem ser a irrigação de áreas verdes, descargas sanitárias e lavagens de pisos e calçadas, por exemplo, ressaltando a necessidade de um tratamento prévio (TONIAL *et al.*, 2017). Essa vantagem se torna extremamente interessante nos locais que vivenciam contextos de secas.

Medidas adaptativas também podem ser em relação ao desenvolvimento de sistemas de alerta às inundações, esquemas de aviso prévio à população em situações de cheias e medidas de evacuação. Tais medidas podem melhorar a preparação e

resposta das comunidades às inundações (KOKS *et al.*, 2015; WILBY; KEENAN, 2012). Obras estruturais podem ser adotadas como proteção e para reduzir a frequência de risco, como por exemplo, diques, barragens, comportas, canais, represas, canalizações e atualização, melhoria e aumento da capacidade da rede de drenagem urbana (JONGMAN *et al.*, 2018; WILBY; KEENAN, 2012; XIMENES, 2010).

#### 4 CONCLUSÕES

Pelo exposto, conclui-se que alterações climáticas, assim como o aumento populacional, o desenvolvimento econômico, a urbanização e o uso da terra ou as mudanças geomórficas naturais são desafiadoras para a sustentabilidade dos recursos através da redução das fontes de água ou do aumento da sua demanda. Nesse contexto, portanto, a mitigação e a adaptação às mudanças climáticas no setor da água pode contribuir para melhorar a sua disponibilidade e aumentar a resiliência das regiões (JIMÉNEZ CISNEROS *et al.*, 2014).

Apesar do setor do saneamento contribuir com emissões de GEE, em baixas porcentagens quando comparado com outros setores da economia, devendo ainda assim passar por processos de mitigação, é a vertente da adaptação que ganha destaque. As medidas de adaptação revelam um potencial de reequilíbrio dos ecossistemas com fortes repercussões positivas para a sustentabilidade e qualidade de vida das comunidades, ao mesmo tempo que oferecem inúmeras oportunidades de desenvolvimento econômico (ALCOFORADO *et al.*, 2009).

No que concerne ao sistema de esgotamento sanitário, o reuso de efluentes tratados como forma de adaptação à escassez hídrica tem se destacado, além de contribuir para melhora da qualidade das fontes naturais de água, na medida em que reduz-se a descarga de efluentes em corpos receptores, e com o aumento da resiliência de regiões e atividades econômicas.

Quanto ao sistema de drenagem de águas pluviais as medidas de adaptação também se sobressaem em relação as medidas de mitigação. E, uma tendência, são as soluções sustentáveis como as infraestruturas verdes, tais como os telhados verdes, que é uma técnica capaz de auxiliar no controle de inundações e contribuir para a

sustentabilidade hídrica local.

## 5 AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Doutorado em Alterações Climáticas e Políticas de Desenvolvimento Sustentável da Universidade de Lisboa e à Superintendência Estadual do Meio Ambiente.

## 6 REFERÊNCIAS

ALCOFORADO, M.; ANDRADE, H.; OLIVEIRA, S.; FESTAS, M.; ROSA, F. **Alterações climáticas e desenvolvimento urbano - série política de cidades 4**. Lisboa: Direcção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano, 2009.

BILOTTA, P.; ROSS, B. Z. L. Estimativa de geração de energia e emissão evitada de gás de efeito estufa na recuperação de biogás produzido em estação de tratamento de esgotos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 275–282, 2016.

CARMO, Jorge Manuel Ventura Oliveira e. **Estratégia de Adaptação das ETAR às Alterações Climáticas com Suporte na Simulação Dinâmica**. 2013. 339 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2013.

FILIPPINI, R. M. K.; POSSETTI, G. R. L. C.; WAISS, T. C. F.; F., AMARAL, K. J.; FRANCO, P. L. P. Perspectivas de redução de emissões de gases de efeito estufa no tratamento de esgoto no estado do Paraná até o ano de 2030. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 29., 2017, São Paulo. **Anais [...]** São Paulo: ABES, 2017. p. 1–7.

GODINHO, Fernando Manuel da Silva. **Redução do consumo energético e das emissões de gases com efeito de estufa no tratamento de águas residuais. Um roteiro de ação para entidades gestoras**. 2015. 382 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2015.

INTERGOVERNAMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE [IPCC]. **Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. New York: Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013. 1535 p

JIMÉNEZ CISNEROS, B. E.; OKI, T.; ARNELL, N. W.; BENITO, G.; COGLEY, J. G.; DÖLL, P.; JIANG, T.; MWAKALILA, S.S. Freshwater resources. *In*: FIELD, C. B.; BARROS, V. R.; DOKKEN, D. J.; MACH, K. J.; MASTRANDREA, M. D.; BILIR, T. E.; CHATTERJEE, M.; EBI, K. L.; ESTRADA, Y. O.; GENOVA, R. C.; GIRMA, B.; KISSEL, E. S.; LEVY, A. N.; MACCRACKEN, S.; MASTRANDREA, P. R.; WHITE, L. L. (Org.). **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and**

**Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2014. cap. 3, p. 229–269.

LEANDRO, Alexandre Miguel Matos. **Avaliação da capacidade de instalação de telhados verdes na cidade de Lisboa com recurso a SIG e detecção remota.** 2011. 93 f. Dissertação (Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território) - Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2011.

MATOS, J. S. **Ambiente e saneamento: sistemas de drenagem urbana.** Lisboa: IST Press, 2006.

NOBRE, Paulo. Mudanças climáticas e desertificação: os desafios para o Estado Brasileiro. *In*: LIMA, R. da C. C.; CAVALCANTE, A. de M. B.; MARIN, A. M. P. (Org.). **Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro.** Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido – INSA, 2011. p. 25–36.

RUTKOWSKI, E. W.; SANCHES-PEREIRA, A. Emissões de todos: mudanças no saneamento pelo clima. *In*: CORDEIRO, B. S. (Org.). **Lei Nacional de Saneamento Básico: Perspectivas para as políticas e gestão dos serviços públicos.** Brasília: PMSS/MCid, 2009. p. 377–389.

SANTOS, Diana Pinheiro dos. **Mitigação do impacto das alterações climáticas na drenagem urbana.** 2014. 84 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciência e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra: 2014.

SANTOS, Filipe Duarte. **Alterações Globais: os desafios e os riscos presentes e futuros.** Lisboa: Fundação Francisco Manuel dos Santos, 2012. 159 p.

SILVA, C. M., FLORES-COLEN, I.; ANTUNES, M. Step-by-step approach to ranking green roof retrofit potential in urban areas: A case study of Lisbon, Portugal. **Urban Forestry and Urban Greening**, v. 25, p. 120-129, 2017.

SOUZA, M. C. O.; CORAZZA, R. I. Do Protocolo Kyoto ao Acordo de Paris: uma análise das mudanças no regime climático global a partir do estudo da evolução de perfis de emissões de gases de efeito estufa. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 42, p. 52–80, 2017.

TASSI, R.; TASSINARI, L. C. da S.; PICCILLI, D. G. A.; ALLASIA, G.; PERSCH, C. G. Green roof: a sustainable alternative for stormwater management. **Ambiente Construído**, v. 14, n. 1, p. 139–154, 2014.

TONIAL, M.; FERNANDES, V. M.; GIL, A. S.; FIORI, S.; SCORTEGAGNA, V.; FERREIRA, M. de C.; ADAMES, D. B. Telhados verdes: uma perspectiva contemporânea. **Revista CIATEC - UPF**, v. 9, n. 1, p. 46-57, 2017.

UHMANN, I. M.; TAVARES, S. F. Avaliação do desempenho ambiental na utilização de telhados verdes extensivos em escolas públicas do Paraná. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 13, n. 1, p. 206-218, 2017.

UNRIC. Relatório da ONU mostra população mundial cada vez mais urbanizada, mais de metade vive em zonas urbanizadas ao que se podem juntar 2,5 mil milhões em 2050. **Centro Regional de Informações das Nações Unidas**, 2016. Disponível em: <https://www.unric.org/pt/actualidade/31537-relatorio-da-onu-mostra-populacao-mundial-cada-vez-mais-urbanizada-mais-de-metade-vive-em-zonas-urbanizadas-ao-que-se-podem-juntar-25-mil-milhoes-em-2050>. Acesso em: 26 jun. 2019.

WILBY, R. L.; KEENAN, R. Adapting to flood risk under climate change. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, v. 36, n. 3, p. 348-378, 2012.

WOODS-BALLARD, B.; KELLAGHER, R.; MARTIN, P.; JEFFERIES, C., BRAY, R.; SHAFFER, P. **The SuDS manual**. London: Construction Industry Research & Information Association (CIRIA), 2017. 968 p.

XIMENES, Elisa Francioli. **Enchentes e saúde: levantamento das diferentes abordagens e percepções, Região do Médio Paraíba, RJ**. 2010. 145 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública e Meio Ambiente) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2010.

## QUALIDADE E PRODUÇÃO DE ÁGUA BRUTA DE UMA MICROBACIA EM SISTEMA KÁRSTICO NA REGIÃO DE SANTO HIPÓLITO – MG

Natália L. Chaves<sup>1\*</sup>, Mariangela G. P. Leite<sup>1</sup>, Maria A. G. Fujaco<sup>1</sup>, Grazielle R.

### Santos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, \*e-mail: natalia.lessa@aluno.ufop.edu.br.

**RESUMO:** A contribuição de microbacias para a disponibilidade de água com qualidade e a quantidade necessárias ao abastecimento de populações rurais é indiscutível. Isso é especialmente verdadeiro para microbacias com nascentes degradadas em áreas cársticas. O cercamento de nascentes nestas áreas tem o potencial de mudar substancialmente a qualidade e a quantidade de águas de microbacias tropicais. Este é o caso do local deste estudo, localizada sobre rochas do Grupo Bambuí, no Município de Santo Hipólito-MG. Para se avaliarem os serviços ambientais dessa microbacia, foram monitoradas a vazão de seu córrego principal, assim como a qualidade de suas águas superficiais, e de subsuperfície. Um lisímetro, foi instalado especialmente para este estudo. Apesar de fornecer um volume de água compatível com outras microbacias semelhantes e com excelente qualidade de água, reflexos do cercamento de sua nascente, o aquífero que abastece a nascente apresenta fortes indícios de contaminação por atividades antrópicas, com elevadas concentrações de nitrato e de fósforo total.

**Palavras-chave:** Nascente. Serviços ambientais. Ciclo hídrico. Karste.

**ABSTRACT:** The contribution of microbasins to the availability of water with the quality and quantity necessary to supply rural populations is indisputable. This is especially true for watersheds with degraded springs in karstic areas. The fencing of springs in these areas has the potential to substantially change the quality and quantity of waters in tropical watersheds. This is the case of the location of this study, located on rocks of the Bambuí Group, in the municipality of Santo Hipólito-MG. In order to evaluate the environmental services of this micro-basin, the flow of its main stream was monitored, as well as the quality of its surface and subsurface waters. A lysimeter was installed, especially for this study. Despite providing a volume of water compatible with other similar micro-basins and with excellent water quality, reflections of the water spring fencing, the aquifer that

supplies the water spring shows strong signs of contamination by anthropic activities, with high concentrations of nitrate and total phosphorus.

**Keywords:** Water spring. Environmental services. Water cycle. Karste.

## 1 INTRODUÇÃO

São cada vez mais fortes e crescentes as pressões exercidas sobre as reservas de água doce disponíveis, que seja em quantidade como qualidade. Por isso, a premente necessidade de gerenciamento dos recursos hídricos. Para tal, é fundamental se compreender o elo das características dos recursos naturais disponíveis e atividades desenvolvidas nas bacias hidrográficas e sua relação com o ciclo hidrológico (DUDLEY; STOLTON, 2003). Neste sentido, são ideais os trabalhos em microbacias, não só por apresentarem facilidades de delimitação da área e identificação dos tipos de uso e ocupação, mas também por envolverem para sua sustentabilidade o equilíbrio de outros serviços ecossistêmicos como solo, florestas, biodiversidade e beleza cênica (TURPIE, 2008). Dentre os sistemas hidrológicos, os cársticos, que abastecem cerca de 25% da população mundial (FORD; WILLIAMS, 2007), são provavelmente os mais sensíveis à contaminação.

O manejo adequado, a proteção e a recuperação de microbacias têm a capacidade de elevar a qualidade e a quantidade da água local e, conseqüentemente, para jusante. O cercamento de nascentes está entre os mais baratos e simples métodos de preservação ambiental de bacias hidrográficas (SMA, 2009). Dentre os diversos parâmetros usualmente utilizados em estudos de microbacias, a quantificação da vazão de seus córregos (quantidade) e os parâmetros físicos e químicos de águas superficiais e subterrâneas (qualidade) estão entre os fundamentais para se entender o papel destas áreas na produção de serviços ecossistêmicos (KARMAKAR *et al.*, 2019).

Neste contexto, o presente estudo buscou quantificar e qualificar a produção de água bruta de uma microbacia vinculada ao sistema cárstico das rochas carbonáticas do Grupo Bambuí na região de Santo Hipólito (MG). A microbacia, degradada por atividades agropastoris, teve sua nascente cercada numa tentativa de melhorar a



quantidade e a qualidade de suas águas.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo e pontos de amostragem

A microbacia estudada está localizada no município de Santo Hipólito – MG (Figura 1), pertencente a bacia hidrográfica do rio das Velhas, um dos principais afluentes do rio São Francisco. A bacia localiza-se sobre rochas carbonáticas do Grupo Bambuí. A microbacia possui 0,75 km<sup>2</sup>. Apesar de pequena, é de grande relevância para a população local que sofre com períodos de estiagem extensos e tem nela e nos poços artesanais em seu aquífero as fontes para seu suprimento de água.

**Figura 1 - Localização geográfica da microbacia estudada com os pontos de amostragem**



Para uma melhor compreensão do ciclo hídrico da microbacia foram monitorados três pontos no córrego principal um poço artesiano e um lisímetro.

### 2.2 Lisímetro e pluviômetro

Para o monitoramento do ciclo hídrico, foi instalado um lisímetro a fim de reproduzir as condições do solo próximo à nascente e assim calcular a taxa de infiltração

do local. O lisímetro foi montado em uma caixa de água de 1000 L, onde solo coletado ao longo de toda a microbacia foi colocado após homogeneização. Paralelamente, foi instalado um pluviômetro no local, onde diariamente são feitas leituras para registro da pluviosidade.

### **2.3 Medidas in situ**

Para se determinarem os parâmetros físicos e químicos da nascente, foram medidos *in situ*: condutividade elétrica, potencial de oxirredução, resistividade, pH, sólidos totais dissolvidos (STD) e temperatura foi usado um multiparâmetro (Ultameter II da marca Myron L). Para determinar a concentração de nitratos, sulfatos, fosfatos e cloretos foi utilizando o colorímetro de campo modelo DR890 HACH e seus respectivos reagentes: (NitraVer®5, PhosVer®3, SulfaVer® e Chlorine®), todos reagentes da HACH®. A vazão do córrego foi determinada pelo método volumétrico no ponto de amostragem 3.

### **2.4 Coleta de água e análise laboratoriais**

Nos pontos de amostragem foram coletadas amostras 30 mL de água, que foram filtradas com membranas de 0,45 µm adaptadas em seringas de 50 mL para se separar o material particulado. Ainda em campo as amostras foram acidificadas com ácido nítrico concentrado e preservadas a 4 °C. Para posterior determinação da concentração de elementos maiores, menores e traço em um ICP-OES “Agilent 725”. A alcalinidade foi quantificada em laboratório através de métodos de titulação, usando alaranjado de metila e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (0,01 mh/L).

### **2.5 Tratamento e análise dos dados**

A fim de se avaliar quais dos parâmetros analisados seriam capazes de individualizar os diferentes tipos de águas, separando-as em superficial, subterrânea e

infiltrada no lisímetro, foi feita, inicialmente, uma análise de principais componentes (PCA) com os resultados do ICP-OES. A seguir, o teste de Kolmogorov–Smirnov (K–S) foi utilizado para avaliar a normalidade dos dados e aplicada a ANOVA (método de comparação múltipla de Tukey). Todas as análises estatísticas foram realizadas com o software MINITAB 16®, adotando-se um intervalo de confiança de 5% ( $p < 0,05$ ).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O córrego, pequeno em suas dimensões, apresentou vazões variando entre 421L/h ou  $1,2 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$  (março), 221L/h (maio) ou  $6,1 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$  e 27 L/h ou  $7,6 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$  (setembro), refletindo sua dependência das chuvas, com os maiores valores ao final da estação chuvosa. Esses valores correspondem a vazões específicas que variam entre  $0,16 \text{ L/s/km}^2$  (estação chuvosa) a  $0,01 \text{ L/s/km}^2$  (estação seca).

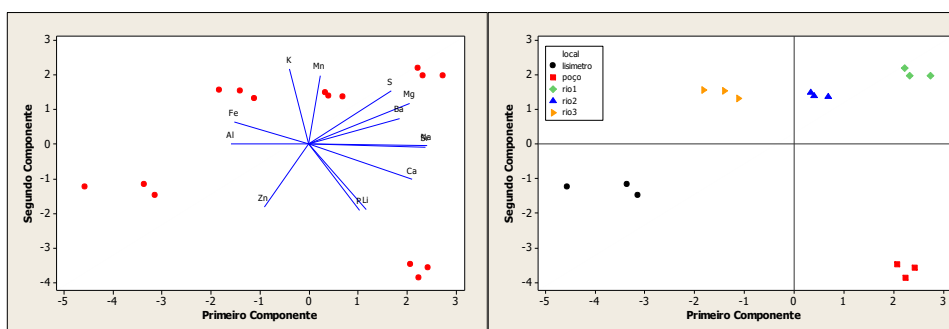
Os resultados das análises geoquímicas mostram resultados interessantes, com as águas superficiais do córrego apresentam as menores concentrações ânions e as maiores de manganês e potássio (Tabela 1). A PCA (Figura 2) mostra uma clara separação das amostras coletadas, individualizando os três tipos de águas. Dos elementos analisados, apenas o alumínio não foi significativamente diferente entre os pontos ( $p = 0,348$ ).

As águas coletadas no córrego são significativamente diferentes entre si para as concentrações dos elementos móveis (Ca, K, Mg, Na), Interessante notar que as concentrações desses elementos tendem a aumentar de montante para jusante no córrego, o que é especialmente evidente com o bário (médias: 15 ppm; 17 ppm; 22 ppm); Zn praticamente só ocorre nas águas do lisímetro e do poço artesiano; as menores concentrações de Sr, Ca, Mg, Na e S são das águas do lisímetro; em contrapartida, as águas de subsuperfície (poço artesiano) apresentam os maiores teores de Sr, Ca e P, além de serem as únicas a apontar a presença de lítio (Tabela 1; concentrações significativamente diferente das demais,  $p = 0,00$ ).

**Tabela 1 – Resultados dos parâmetros físicos e químicos analisados**

Amostras (µg/L)							
	Mn	Ca	K	Mg	Na	P	S
RIO 1	176,4±3,59	90,6±2,41	2,4±0,04	10,5±0,22	15,6±0,47	0,1±0,00	26,8±0,44
RIO 2	244,1±14,33	80,6±1,25	2,3±0,02	9±0,12	10,9±0,17	0,1±0,00	18,8±0,30
RIO 3	258,7±6,14	70,7±0,29	2,3±0,00	7,4±0,03	6,6±0,04	0,1±0,01	14,8±0,03
LISÍMETRO	11,6±10,63	57,1±1,49	2±0,05	4,8±0,12	1,4±0,03	0,1±0,00	7,5±0,44
POÇO TUBULAR	1,7±0,85	118,7±1,84	1,3±0,08	7,7±0,10	15,6±0,19	0,1±0,00	12,2±0,20
Amostras (mg/L)							
	Cloro livre	Nitrato	Nitrito	Fosfato	Sulfato		
RIO 1	0,1±0,05	4,9±4,37	0,0±0,02	0,2±0,10	61,8±18,48		
RIO 2	0,0±0,02	2,7±2,50	0,0±0,01	0,5±0,31	62,2±14,08		
RIO 3	0,1±0,12	4,4±1,21	0,0±0,01	0,2±0,07	60,0±15,18		
LISÍMETRO	0,0±0,04	22,7±22,70	0,1±0,05	0,2±0,15	15,0±15,00		
POÇO TUBULAR	0,0±0,02	9,1±6,87	0,0±0,02	0,4±0,26	0,0±4,61		

Figura 2 – Gráficos com os resultados da PCA. Notar a clara separação das águas



#### 4 CONCLUSÕES

Os serviços ecossistêmicos produzidos por uma microbacia são determinados por seu uso e ocupação do (referencias). No caso de sistema cársticos, muito sensíveis, a poluição de seus aquíferos mais profundos é preocupante. Os dados do presente estudo mostraram que o cercamento de nascentes de microbacias rurais degradadas pela ação antrópica (agricultura e pecuária) é capaz de aumentar a produção de água e

melhorar sua qualidade. As águas de superfície e do lisímetro amostradas, quando comparadas com as águas do aquífero profundo, apresentam concentrações de nitratos e fósforo total bem inferiores, dentro dos limites para águas potáveis definidos pelo CONAMA.

## 5 REFERÊNCIAS

DUDLEY, N.; STOLTON, S. **Running Pure: the Importance of Forest Protected Areas to Drinking Water**. New York: World Bank/WWF Alliance for Forest Conservation and Sustainable Use, 2003. 114 p.

FORD DC; WILLIAMS PW. **Karst geomorphology and hidrology**. 1. ed. United Kingdom: John Wiley & Sons, 1989. 578 p.

KARMAKAR, S.; SIRAJUL, H. S. M.; HOSSAIN, M. M.; SEN, M.; HOQUE, M. E. Water quality parameter as a predictor of small watershed land cover. **Ecological Indicators**, v. 106, p. 1-12, 2019.

SMA - Secretaria de Estado do Meio Ambiente. **Cadernos da Mata Ciliar nº 1: Preservação e recuperação das nascentes de água e vida**. 2 ed. São Paulo: SMA, 2009. 36 p.

TURPIE, J. K.; MARAIS, C.; BLIGNAUT, J. N. The working for Water Programme: evolution of a payments for ecosystem services mechanism that addresses both poverty and ecosystem service delivery in South Africa. **Ecological Economics**, v. 65, n. 4, p. 788-798, 2008.

## REMOVAL OF THE PESTICIDE THIAMETHOXAM BY ACTIVATED CARBON MAGNETIC NANOCOMPOSITE IN WATER MATRIX

Jonatas L. Ramos\*<sup>1</sup>, Jhonatas O. F. Monteiro<sup>1</sup>, Geórgia Labuto<sup>2</sup>, Elma N. V. M. Carrilho<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Polymeric Materials and Biosorbents, Federal University of São Carlos, \*e-mail: jonatasramos@estudante.ufscar.br.

<sup>2</sup>Department of Chemistry, Federal University of São Paulo.

<sup>3</sup>Department of Natural Sciences, Mathematics and Education, Federal University of São Carlos.

**RESUMO:** Devido ao constante crescimento populacional, a necessidade de se produzir alimentos e de se intensificar as atividades agrícolas vem aumentando significativamente. Com isso, são utilizados, na agricultura, diversos compostos químicos, como pesticidas e herbicidas, para que isso seja possível. Um desses produtos é o tiametoxam (TMX), um inseticida sistêmico, utilizado para o controle de várias pragas, que apresenta alto potencial de contaminação ambiental. Desse modo, este trabalho tem como proposta utilizar um biossorbente produzido de resíduos da indústria sucroalcooleira, leveduras, que apresentam baixo custo, com posterior nanomodificação com magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), possuindo características adequadas para a biossorção de TMX em águas. Os parâmetros de sorção investigados foram os testes de pH, estudo cinético e ciclos de reuso do biossorbente. A remoção de TMX foi favorável para todos os valores de pH investigados, o equilíbrio foi atingido após 30 minutos de tempo de contato e houve o decaimento na capacidade de adsorção após o sexto ciclo de reuso. A Espectrofotometria de Absorção Molecular na Região Ultravioleta-Visível (UV-Vis) foi utilizado para a quantificação de TMX em todos os ensaios.

**Palavras-chave:** Biossorção. Nanopartículas magnéticas. Adsorção.

**ABSTRACT:** Due to the constant population growth, the need to produce food and intensify agricultural activities has been increasing significantly. As a result, a variety of chemical compounds such as pesticides and herbicides are used in agriculture to make this possible. One of these products is thiamethoxam (TMX), a systemic insecticide, used

for pest control, which exhibit high potential for environmental contamination. Thus, this work proposes the use of a low cost biosorbent produced from residues of the sugar and alcohol industry, yeast, after its nanomodification with magnetite ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), to efficiently TMX in water. The sorption parameters investigated were pH, kinetics, cycles of adsorbent reuse. The sorption was favorable to all studies pH values, and equilibrium was reached after 30 minutes of contact and there was a decrease in the ability of adsorption after the sixth reuse cycle. Ultraviolet-Visible Absorption Spectrophotometry (UV-Vis) was used for TMX quantification.

**Keywords:** Biosorption. Magnetic nanoparticles. Adsorption.

## 1 INTRODUCTION

With the rapid human population growth, there is a need to increase food production and intensify agricultural activities - increase of crop yield per unit area of soil (KOPITTKE *et al.*, 2019). In view of this, several chemical compounds are used in agriculture in order to improve the quality of food, increase productivity, have a more efficient control of pests, diseases and weeds (POPP *et al.*, 2013). One of these compounds is the thiamethoxam (TMX), a systemic insecticide, used to control various pests, classified as highly dangerous to the environment, it can cause health and environmental problems due to their excessive toxic properties and poor biodegradability, with a high potential for environmental contamination (BOSE *et al.*, 2011). On account of all this pollution, biosorption emerges as an efficient and low-cost treatment, which consists of retaining contaminants from an aqueous environment using solids of natural origin or their derivatives – the biosorbents. These materials have several advantages, such as high sorption capacity, insensitivity to toxic substances and the possibility of reuse, which allows the valorization of the biosorbent and insertion in the bioeconomic chain (TRAN *et al.*, 2015; MODESTO *et al.*, 2020).

The activated carbon is a biosorbent that has a great adsorbent power due to its high surface area and the presence of several functional groups on its surface, being frequently reported in the literature for both environments contaminated with inorganic and

organic substances (BARBOSA *et al.*, 2020). Allied to the biosorption process, the use of nanotechnology allows obtaining biomass particles on a nanoscale in order to improve the sorption properties by potentializing this process (MAMANI *et al.*, 2013).

This work proposes the biosorption of TMX in aqueous medium, using a low-cost yeast activated carbon magnetic nanocomposite (YAC-NP), produced with residues from the sugar and alcohol industry.

## 2 MATERIALS AND METHODS

### 2.1 Preparation of magnetite nanoparticles (NP) and yeast activated carbon magnetic nanocomposite (YAC-NP)

The coprecipitation method was used to synthesize magnetite nanoparticles (NP). For this, solutions of Fe(II) and Fe(III) salts were diluted in a 1:2 molar proportion in HCl 1 mol/L and kept under constant stirring. Then, 0.7 mol/L  $\text{NH}_4\text{OH}$  was added dropwise, and the temperature was raised to 80 °C and heating was kept for 30 min. To this NP suspension YAC was added for its nanomodification and magnetization by the ferromagnetic particles, thus forming YAC-NP. The impregnation of YAC by NP is to allow the biomass, which is mostly amorphous, to acquire paramagnetic properties and to be easily removed by a neodymium magnet from aqueous medium.

### 2.2 Point of zero charge ( $\text{pH}_{\text{PZC}}$ ) and sorption pH

The determination of  $\text{pH}_{\text{PZC}}$  was carried out by adding 10 mg of the YAC-NP adsorbent in 10 tubes containing 10 mL of 0.1 mol/L NaCl solution adjusted to the desired pH (1 to 12) with HCl and NaOH. These solutions were filtered and their final pH was measured after 24 hours at 25 °C, under constant agitation of 185 rpm. The sorption pH test proceeded with the mixture of 10 mg of YAC-NP and 10 mL of 10 mg/L TMX solutions at pH values 2, 3, 4, 5, 6, and 7, previously adjusted with HCl or NaOH 0.1 mol/L. The mixtures were kept under agitation at 185 rpm for 10 minutes and the supernatants were collected and analyzed by UV-Vis spectrometry.



### **2.3 Kinetic studies**

To perform the kinetic studies for TMX, defined masses of the biosorbent YAC-NP were mixed with solutions containing 10 mg/L TMX at pH values previously adjusted and under constant agitation (185 rpm). Aliquots of the supernatants were collected at different contact time between adsorbate-adsorbent, the supernatants were collected and analyzed to determine the non-adsorbed TMX, in each time studied. Kinetic models of pseudo-first and pseudo-second order reactions were applied.

### **2.4 Cycles of use of YAC-NP for TMX removal**

The reuse of YAC-NP in subsequent cycles was evaluated without previous desorption, simulating a filtering process. For this proposal, 10 mg of YAC-NP was suspended in 10 mL of 10 mg/L TMX solution, in Falcon tubes. The mixture was constantly stirred (185 rpm) in a shaker for 30 min, after which, the supernatants were collected and analyzed for determination of non-adsorbed TMX. The remaining TMX - containing adsorbent received subsequent fresh 10-mL aliquots of 10 mg/L TMX up to 10 times.

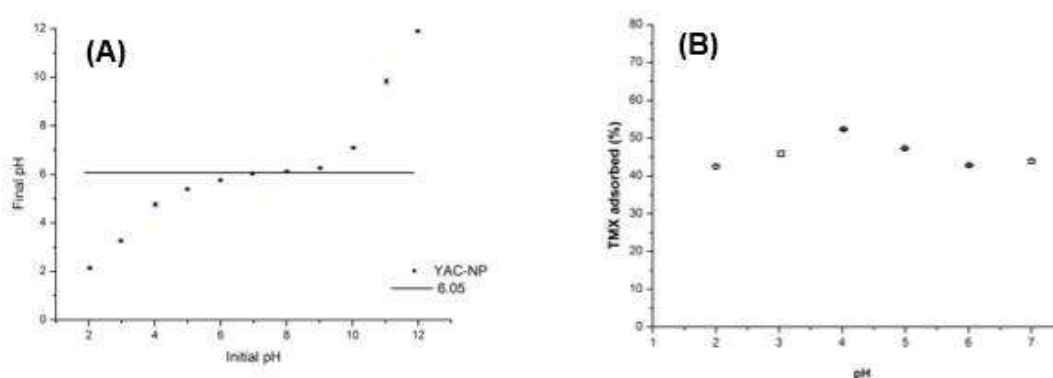
## **3 RESULTS AND DISCUSSION**

### **3.1 Point of zero charge ( $pH_{PZC}$ ) and sorption pH**

The  $pH_{PZC}$  corresponds to the point where the pH remains constant, after system has reached equilibrium. Based on the values obtained, it was determined that the  $pH_{PZC}$  of YAC-NP is 6.05 (Figure 1). In aqueous solutions with pH values below  $pH_{PZC}$ , the adsorbent surface is positively charged, being more effective for the removal of anionic materials. In this study, the need to perform sorption tests was evidenced in an acid medium with pH values below  $pH_{PZC}$  so that the sorption of TMX was favored. The results show that the sorption of TMX by YAC-NP was favorable for all pH values tested, with efficient removal between 42 and 52%. Thus, it was chosen the pH value of TMX solution

with no pH adjustments (pH = 5.6), which facilitates future large-scale applications.

**Figure 1 - Point of zero charge (pH<sub>PZC</sub>) (A) of yeast activated carbon magnetic nanocomposite (YAC-NP) and effect of pH on the sorption of thiamethoxam (B). Biomass (10 mg) was mixed with 10 mL of 0.1 mol/L NaCl at 2-12 pH range**

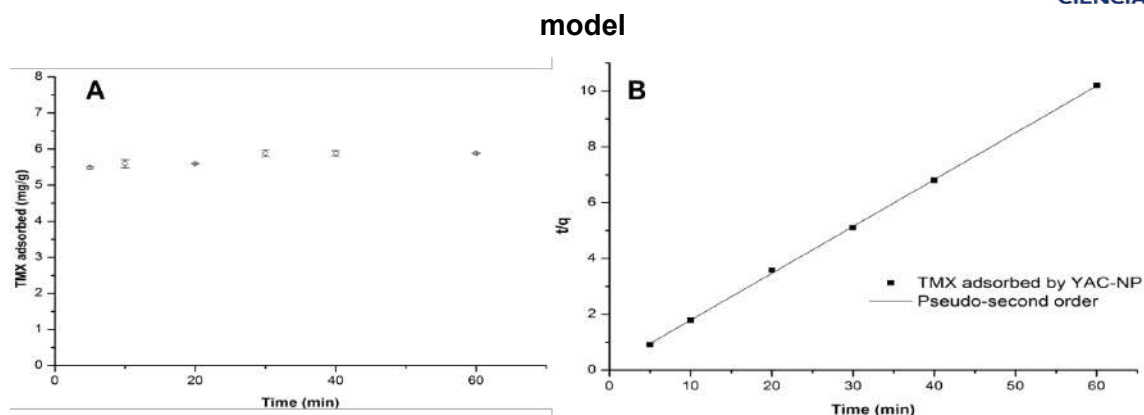


Source: Prepared by authors.

### 3.2 Kinetic studies

It is possible to verify that the percentage of pesticide removal by the biosorbent was fast in the first 5 minutes of contact time, and increased and remained constant after reaching equilibrium after 30 min (Figure 2A). These results indicate that the synthesized adsorbent is efficient, and demonstrates applicability in the removal of pesticides in water medium. Kinetic models were applied to the data and it was possible to observe that the pseudo-second order equation provided the best adjustments (Figure 2B). This result reveals that the chemisorption has a significant contribution in this process, involving the exchange or donation of electrons between adsorbate and adsorbent, as covalent and ion exchange forces (HO, 2006).

**Figure 2 - TMX kinetics studies (A) by yeast activated carbon magnetic nanocomposite (YAC-NP), using 10 mL of 10 mg/L TMX solution and 0.01 g of biosorbent. (B) Experimental data and fittings to the pseudo-second order kinetic**

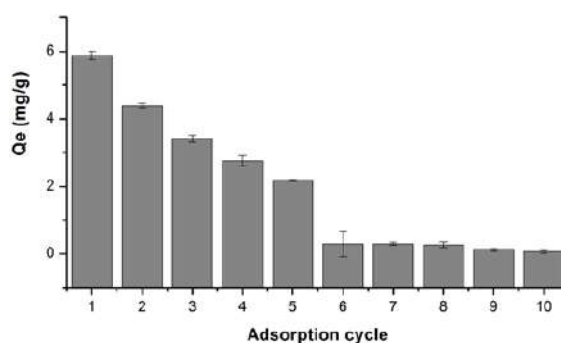


Source: Prepared by authors.

### 3.3 Cycles of use of YAC-NP for TMX removal

Ten adsorption cycles were performed and the results are depicted in Figure 3. In the first cycle, the percentage of adsorption was 71.87% and reached 0.69% in the last cycle. A decrease in adsorptive capacity was observed with each new cycle, however, only after the fifth cycle a sharp decrease in adsorption capacity was achieved. This may indicate that the saturation of most of the active sites available on the surface of the biosorbent occurred. The results prove the efficiency in the reuse of the biosorbent.

**Figure 3 - Sorption cycles of TMX removal by yeast activated carbon magnetic nanocomposite (YAC-NP), using 10 mL of 10 mg/L TMX solution and 0.01 g of biosorbent. n = 2**



Source: Prepared by authors.

#### 4 CONCLUSION

Our findings demonstrated that the synthesized nanocomposite is an efficient and low-cost material suitable to be used for rapid adsorption of water contaminants, and that may be easily removed from the medium by a magnet. Besides, it showed the potential to be reused up to 5 cycles. Therefore, YAC-NP is a promising biosorbent to uptake thiamethoxam, and therefore some other anionic pesticides and herbicides.

#### 5 REFERENCES

- BARBOSA, J. A.; LABUTO, G.; CARRILHO, E. N. V. M. Magnetic nanomodified activated carbon: characterization and use for organic acids sorption in aqueous medium. **Chemical Engineering Communications**, v. 206, n. 11, p. 1-14, 2020.
- BOSE, S.; NATH, S; SAHANA, S. S. Toxic impact of tiametoxam on the growth performance and liver protein concentration of a freshwater fish oreochromis niloticus. **Indian Journal of Fundamental and Applied Life Science**, v. 4, n. 1, p. 274-280, 2011.
- HO, Y. S. Review of second-order models for adsorption systems. **Journal of Hazardous Materials**, v. 136, n. 3, p. 681–689, 2006.
- KOPITKE, P. M.; MENZIES, N. W.; WANG, P.; MCKENNA, B. A.; LOMBI, E. Soil and the intensification of agriculture for global food security. **Environment International**, v. 132, p. 1-8, 2019.
- MAMANI, J. B.; COSTA-FILHO, A. J.; CORNEJO, D. R.; VIEIRA, E. D.; GAMARRA, L. F. Synthesis and characterization of magnetite nanoparticles coated with lauric acid. **Materials Characterization**, v. 81, p. 28-36, 2013.
- MODESTO, H. R.; LEMOS, S. G.; SANTOS, M. S.; KOMATSU, J. S.; GONÇALVES, M.; CARVALHO, W. A.; CARRILHO, E. N. V. M.; LABUTO, G. Activated carbon production



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS NATURAIS

from yeast residue to boost up circular bioeconomy. **Environmental Science and Pollution Research**. 2020.

POPP, J.; PETÕ, K.; NAGY, J. Pesticide productivity and food security. A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, n. 1, p. 243–255, 2013.

TRAN, V. S.; NGO, H. H.; GUO, W.; ZHANG, J.; LIANG, S.; TON-THAT, C.; ZHANG, X. Typical low cost biosorbents for adsorptive removal of specific organic pollutants from water. **Bioresource Technology**, v. 182, p. 353-365, 2015.

## USO DO GEOPROCESSAMENTO NA IDENTIFICAÇÃO DE QUEIMADAS NO MUNICÍPIO DE REDENÇÃO-CE

Ítalo M. de M. Santos\*<sup>1</sup>, Antônio P. M. de Brito<sup>2</sup>, Rafaella da S. Nogueira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, \*e-mail: iitalomagno@gmail.com.

<sup>2</sup>Instituto de Desenvolvimento Rural, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi realizar o mapeamento dos focos de queimadas para o município de Redenção por meio das técnicas de classificação de imagens e análise espacial dos focos de calor disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Foram utilizadas imagens do satélite Sentinel para realizar a classificação pelo método de maxver e os dados de focos de calor, disponibilizados pelo INPE. Os resultados indicaram que as duas metodologias apresentaram conformidade. As regiões com maior quantidade de áreas queimadas situam-se na direção leste e sul do município. A verificação *in loco* fez-se perceber que a espacialização gráfica das queimadas e incêndios representa o cenário real da região.

**Palavras-chave:** Geotecnologias. Fogo. Maciço de Baturité.

**ABSTRACT:** The objective of this work was to map the fires foci for the municipality of Redenção through the techniques of image classification and spatial analysis of the hot spots provided by the National Institute for Space Research. Images from the Santinel satellite were used to perform the classification using the maxver method and the data on hot spots, provided by INPE. The results indicated that the two methodologies showed conformity. The regions with the largest amount of burnt areas are located in the east and south of the municipality. The on-site verification showed that the graphic spatialization of fires and fires represents the real scenario of the region.

**Keywords:** Geotechnologies. Fire. Massif of.Baturité.

## 1 INTRODUÇÃO

O uso do fogo como subsídio das atividades agrícolas e pecuárias é uma

prática antiga e está bastante consolidada na sociedade, perpassando ao longo de gerações (JESUS *et al.*, 2011). Atualmente no Brasil essa prática é usada principalmente por sistemas agrícolas primitivo/tradicional ou convencionais, que são praticados por indígenas, caboclos, ribeirinhos, camponeses, pequenos produtores, no sistema de agricultura familiar, e em sistemas com altos níveis de tecnicidade.

É importante destacar que o fogo é caracterizado como um dos agentes que apresenta maior potencialidade de modificar o meio ambiente, no qual resulta em danos irreparáveis principalmente a biota dos ecossistemas, além de promover prejuízos tanto econômicos quanto ambientais. Dessa forma tornam-se imprescindíveis estudos de identificação e monitoramento dessa prática. Dentre as ferramentas utilizadas para esses estudos destaca-se o geoprocessamento.

O uso de imagens de satélite pelo geoprocessamento está sendo bastante difundido nas análises ambientais pela confiabilidade dos dados e por possuírem multifinalidades por complexidade de informações. Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo realizar o mapeamento dos focos de queimadas para o município de Redenção por meio das técnicas de classificação de imagens e análise espacial dos focos de calor disponibilizados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O município de Redenção encontra-se inserido na bacia do rio Pacoti, no Maciço de Baturité no Ceará. O relevo consiste em Maciços Residuais e Depressões Sertanejas. Apresenta clima tropical com inverno seco com temperatura de 26° a 28 °C. A vegetação nativa é Caatinga Arbustiva (IPECE, 2017). De acordo com Novo (2010), para caracterizar uma imagem por um processo visual utiliza-se de “chaves de interpretação”, uma delas é caracterizar por tonalidade/cor. Este processo demonstra como a radiação é refletida ou emitida pelos objetos na superfície. Para a identificação de queimadas no município, realizou-se a classificação por MaxVer, utilizando imagens do satélite Sentinel (agosto de 2016 e setembro 2018) e a identificação dos focos de calor disponibilizadas pelo INPE (2020) referente aos respectivos anos.

Desse modo, fez-se necessário utilizar de chaves de interpretação, utilizando

o *software* Arcgis10.2 para realizar a combinação de cores. Assim, por meio da ferramenta *Composite Bands* e com a utilização das bandas R8, G4 e B3 respectivamente com comprimento de onda de 842, 665 e 560nm do satélite, gerou-se uma imagem em falsa cor, que evidencia regiões com baixa radiância para utilização do classificador Maxver. Ao traçar os polígonos representativos e realizar a classificação supervisionada por meio da ferramenta *Image Classification* gerou-se o mapa de queimadas.

Para a identificação dos pontos de calor sob a superfície do solo, interpolaram-se os dados georreferenciados (*shape file*) do INPE para a área de estudo e comparou com a classificação realizada. Após a classificação das áreas queimadas e comparação com os focos de calor, realizou-se uma visita *in loco* (em 2020) nas áreas mapeadas para verificação se ainda há reincidência de cicatrizes por meio de focos ativos.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

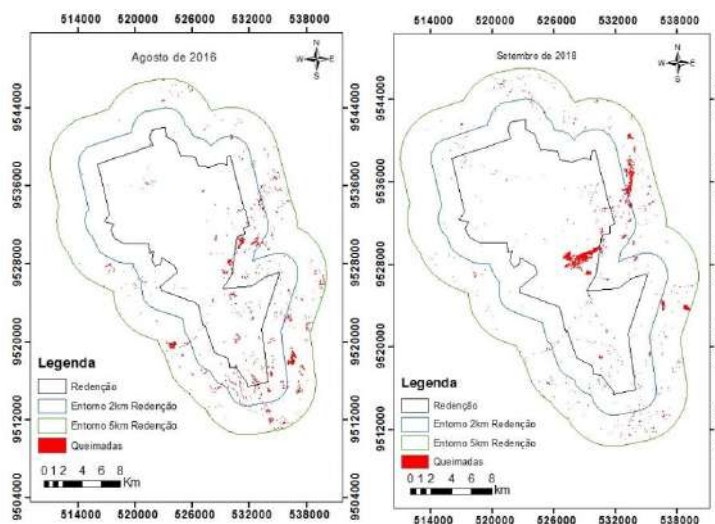
De acordo com o mapeamento, as áreas do município cujo apresentam maiores focos de queimadas, são as regiões sul e ao leste. Essas queimadas são reincidentes e provenientes de atividades agrícolas, limpeza urbana, incêndio criminoso ou acidental.

No mapa correspondente ao mês de setembro 2018 observa-se uma extensa mancha vermelha correspondendo a uma grande área da região que passou pelo processo de queima da vegetação nativa (Figura 1). De acordo com moradores da região, a mancha identificada no mapa, corresponde a um incêndio florestal que apresenta origem desconhecida, sendo a principal teoria a origem criminoso, uma vez que apresenta reincidência na área.

No ano de 2016, observou-se que houve uma maior distribuição espacial de pequenos focos de queimadas, se comparado a 2018. No referido ano, identificou-se que os focos se distribuíram na região sul do município, região de serra que apresenta bastante área agrícola em sistemas de roçados, cuja limpeza do solo ocorre principalmente por meio das queimadas.

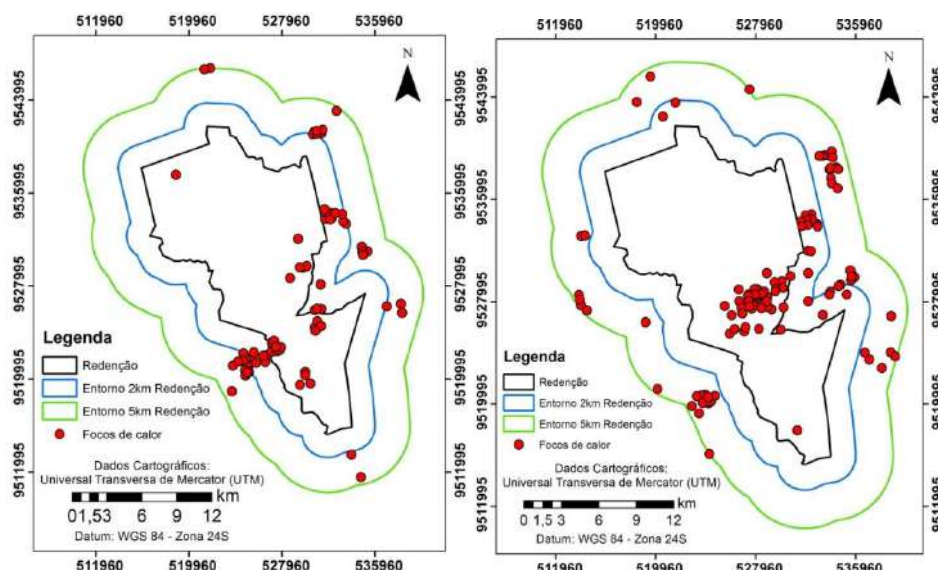


**Figura 1 - Mapas de cicatrizes de queimadas em Redenção – CE, dos anos de 2016 e 2018**



De acordo com a tabela de atributos extraída da classificação, no ano de 2016 o município apresentou uma área de aproximadamente 200 hectares queimados. Já no ano de 2018 a área total queimada aumentou, para 375 hectares. A recorrente e indiscriminada prática da queima vem alterando as características das espécies florestais predominantes, mudando os ecossistemas naturais, além de influenciar diretamente em aspectos microclimáticos e na qualidade do ar (SCHMIDT *et al.*, 2016).

**Figura 2 - Mapas de focos de calor em Redenção – CE, dos anos de 2016 e 2018**



Identificou-se que os focos de calor sobre a superfície do solo concentraram-se ao leste e sul, para os referidos anos. Ao comparar com o resultado da classificação (Figura 1) com o mapa de focos de calor (Figura 2), nota-se que a região com alta densidade de pontos corresponde a uma grande área queimada o que diminui mais ainda as incertezas de erros de interpretação. Ressalta-se que ocorrem pequenas diferenças na espacialização dos mapas, o de classificação apresenta grandes áreas queimadas que estão distribuídas por toda a região apresentando cicatrizes do fogo que podem ter sido oriundos de meses anteriores, já o de focos de calor demonstra os locais com alta temperatura caracterizando a presença do fogo no momento da passagem do satélite.

A importância tanto do monitoramento real quanto dos estudos temporais torna-se essenciais para elaboração de políticas públicas conservacionista, já que mediante os dados apresentados é possível traçar estratégias de mitigação da problemática nas regiões em que os incêndios se tornam rotineiros. Após a classificação e mapeamento dos focos de calor, a identificação visual das áreas que apresentaram cicatrizes de queimadas e reincidência de focos ativos foi comprovada *in loco* (Figura 3)

**Figura 3 - Queimadas na região sul e leste. Queimadas ativas (A; B). Cicatrizes de**

### fogo (C; D)



## 4 CONCLUSÕES

O uso de geotecnologias para monitoramento e detecção de queimadas a cada dia torna-se mais eficiente, uma vez que essa técnica se apresenta bastante confiabilidade. Assim, salienta-se que as ferramentas de geoprocessamento aplicadas neste estudo apresentaram grande eficácia. Identificou-se que a classificação das cicatrizes de queimadas por meio do método Maxver, apresentou conformidade com o mapeamento dos focos de calor da cobertura do solo. A análise *in loco* fez-se perceber que as duas formas de identificação de queimadas caracterizam o cenário real da área, uma vez que foram perceptíveis as cicatrizes do fogo sobre o solo e queimas ativas.

Contudo, conclui-se que a realização dessa pesquisa é de grande valia para expressar a eficácia das metodologias de identificação de queimadas. O mapeamento realizado identifica os locais de intensa e indiscriminada supressão vegetal, deixando em evidência as áreas que necessitam de ações conservacionistas de imediato. Além de auxiliar nas tomadas de decisões para viabilizar as intervenções e fiscalização na região.

## 5 REFERÊNCIAS

ESRI, 2009. **Arcgis explorer website**. Adquirido sob Licença do processo 23883/11-74, pregão 289/2011. UNILAB, 2017.

Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará-IPECE. **Perfil Municipal Redenção 2017**. Disponível em: <https://www.ipece.ce.gov>. Acesso em: 05 out. 2020.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais- INPE. **Programa queimadas**. 2020. Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/>. Acesso em; 06 out 2020.

JESUS, S. C. de; SETZER, A. W.; MORELLI F. Validação de focos de queimadas no Cerrado em imagens TM/Landsat-5. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS NATURAIS

REMOTO, 15. 2011, Curitiba. **Anais** [...] Curitiba: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2011. p. 8051 – 8058.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4 ed. São Paulo: Blucher, 2010. 388 p.

SCHMIDT, I.; FONSECA, C.; FERREIRA, M. C.; SATO, M. N. Experiências internacionais de manejo integrado do fogo em áreas protegidas– recomendações para implementação de manejo integrado de fogo no Cerrado. **Revista Biodiversidade Brasileira**, v. 6, n. 2, p. 41-54, 2016.

## UTILIZAÇÃO DE MACROINVERTEBRADOS BENTÔNICOS E ÍNDICES BIÓTICOS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM ECOSISTEMAS AQUÁTICOS

Silvio G. J. Junior\*<sup>1</sup>, Eliseu M. P. de Lucena<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, \*e-mail: [silvio.gentil@aluno.uece.br](mailto:silvio.gentil@aluno.uece.br).

**RESUMO:** A maioria das atividades humanas é capaz de gerar impacto sobre o meio ambiente aquático, principalmente quando estas ameaçam a sua conservação e reduzem a qualidade da água. Deste modo, o objetivo desta revisão de literatura é demonstrar informações acerca da utilização de bioindicadores, sobretudo os macroinvertebrados bentônicos, na avaliação da qualidade da água em ecossistemas aquáticos e utilizar esses parâmetros para calcular índices bióticos capazes de mensurar o dano ambiental causado pela poluição. Para isto, foi realizada uma triagem de artigos de 2010 a 2020 no Portal de Periódicos da Capes que abordassem temáticas relacionadas ao biomonitoramento ambiental. A partir da avaliação populacional das comunidades bentônicas presentes em determinados corpos hídricos, é possível calcular índices bióticos capazes de fornecer um diagnóstico da qualidade da água, bem como, mensurar o nível de poluição que o ecossistema está submetido, auxiliando na gestão dos recursos hídricos e nas tomadas de decisão em relação à recuperação do impacto ambiental causado pelas atividades antrópicas.

**Palavras-chave:** Monitoramento ambiental. Corpo hídrico. Indicador biológico.

**ABSTRACT:** Most human activities are capable of impacting the aquatic environment, especially when they threaten their conservation and reduce water quality. Thus, the objective of this literature review is to demonstrate information about the use of bioindicators, especially benthic macroinvertebrates, in the assessment of water quality in aquatic ecosystems and to use these parameters to calculate biotic indices capable of measuring the environmental damage caused by pollution. For this, a screening of articles from 2010 to 2020 on the Capes Journal Portal that addressed topics related to environmental biomonitoring. From the population assessment of benthic communities present in certain water bodies, it is possible to calculate biotic indices capable of providing a diagnosis of water quality, as well as measuring the level of pollution that the

ecosystem is subjected to, helping with the management of water resources and in decision making regarding the recovery of the environmental impact caused by human activities.

**Keywords:** Environmental monitoring. Water body. Biological indicator.

## 1 INTRODUÇÃO

A maioria das atividades humanas são capazes de gerar impacto sobre o meio ambiente aquático, principalmente quando estas ameaçam a sua conservação e reduzem a qualidade da água presente nestes corpos hídricos. O crescimento populacional; o lançamento de grandes quantidades de efluentes domésticos e industriais; o uso intensivo de agrotóxicos na produção agrícola e a contaminação por metais pesados têm modificado a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas, causando impactos sobre a fauna e a flora ali presentes (SILVA *et al.*, 2016). Diante desta problemática, torna-se relevante monitorar as condições ecológicas de corpos d'água, rios, riachos, reservatórios, entre outros, pois a análise das suas condições de salubridade depende da comparação entre ambientes com características naturais preservadas e outros sujeitos a diferentes níveis de impacto causado pelo homem. Programas de controle ambiental monitoram a saúde dos habitats aquáticos por meio de índices de qualidade da água, obtidos principalmente, a partir da análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos. Estas variáveis apresentam limitações e não conseguem mensurar de maneira integral o impacto das ações humanas sobre os ecossistemas aquáticos (YOSHIDA; UIEDA, 2013).

A partir do século XX, muitos pesquisadores têm estudado a utilização de bioindicadores, sobretudo os macroinvertebrados bentônicos, para estimar o efeito da poluição nas comunidades aquáticas. Isso ocorre por meio da avaliação das alterações ocorridas na densidade populacional e riqueza de determinadas comunidades bentônicas e atestam, de forma eficiente, a saúde do habitat onde estes organismos estão inseridos (PIMENTA *et al.*, 2016). Entre os pontos positivos da utilização destes invertebrados no biomonitoramento estão: a prevalência destes indivíduos em ambientes aquáticos

variados (lênticos e/ou lóticos); ciclo de vida relativamente longo; sésseis ou de mobilidade reduzida; de fácil identificação e sensíveis as alterações do meio ambiente provocadas pela poluição (SÁNCHEZ *et al.*, 2016).

Por meio da avaliação populacional das comunidades bentônicas presentes em determinados corpos hídricos é possível calcular índices bióticos capazes de fornecer um diagnóstico da qualidade da água, assim como também mensurar o nível de poluição que o ecossistema está submetido, e auxiliar na gestão dos recursos hídricos e nas tomadas de decisão em relação a recuperação do impacto ambiental causado pelas atividades antrópicas (LIMA *et al.*, 2017). Os principais índices biológicos que serão apresentados neste trabalho são: Biological Monitoring Working Party Score System – BMWP; o Biological Monitoring Working Party System Average Score Per Taxon (BMWP - ASPT); Hilsenhoff Family Biotic Index – HFBI; Percentage of Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera – EPT e o Índice da Comunidade Bentônica para rios - ICBrio. Deste modo, o objetivo desta revisão da literatura é demonstrar informações acerca da utilização de bioindicadores, sobretudo os macroinvertebrados bentônicos, na avaliação da qualidade da água em ecossistemas aquáticos, e utilizar esses parâmetros para calcular índices bióticos capazes de mensurar o dano ambiental causado pela poluição.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizada uma triagem de artigos de 2010 a 2020 no Portal de Periódicos da Capes que abordassem temáticas relacionadas ao biomonitoramento ambiental. Os critérios utilizados para a escolha foram artigos que apresentassem as seguintes palavras-chave: 'biomonitoramento', 'bioindicadores', 'macroinvertebrados bentônicos', 'índices bióticos/biológicos', não importando em que idioma tenham sido escritos. A exclusão foi feita por ano da publicação, onde aqueles que apresentassem mais de dez anos de edição eram descartados.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Bioindicadores

Conforme Chaves e Ruvolo-Takasusuki (2018), a modernização e o aperfeiçoamento dos processos de produção trouxeram desenvolvimento para diversas áreas da Ciência e, sobretudo, para a qualidade de vida do homem. Todavia, boa parte dos resíduos produzidos por essas atividades industriais acabam alcançando parcelas significativas do meio ambiente, contaminando ecossistemas encontrados em corpos hídricos e no solo; poluindo o ar e, conseqüentemente, causando danos para a fauna e para a flora terrestre. Oliveira *et al.* (2014), relatam que as alterações no meio ambiente provocadas pela ação antrópica diminuem a biodiversidade através da simplificação de paisagens que anteriormente possuíam dinâmicas mais complexas; levam a eliminação de espécies-chaves capazes de garantir o equilíbrio dos ecossistemas; afetam diretamente a fauna e a flora, modificando as relações ecológicas entre os seres vivos; e prejudicam a qualidade de vida do planeta.

Diante da problemática apresentada, vários grupos de pesquisa estão desenvolvendo programas de monitoramento ambiental utilizando bioindicadores. Estes podem ser definidos como qualquer organismo escolhido por sua sensibilidade ou tolerância a vários parâmetros ambientais. Para avaliar o impacto oriundo das atividades humanas é necessário a realização de testes de ecotoxicidade ou bioensaios que sejam capazes de prever os danos que um agente tóxico provoca no ambiente (Franco *et al.*, 2018). Muitos organismos têm sido utilizados como bioindicadores, a saber: 'macroinvertebrados bentônicos' (OLIVEIRA; CALLISTO, 2010); 'insetos' (OLIVEIRA *et al.*, 2014; CREPALDI *et al.*, 2014); 'nematoides' (RITZINGER *et al.*, 2010); 'moluscos' (LOYO; BARBOSA, 2016); 'peixes' (FRANCO *et al.*, 2018); 'plantas, algas, musgos e líquens' (MAKI *et al.*, 2013; SOUZA *et al.*, 2017). Neste sentido, o foco deste trabalho foi avaliar a utilização de comunidades bentônicas na determinação da qualidade da água em ecossistemas aquáticos.

#### 3.1.2 Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores da qualidade da água

Com o objetivo de facilitar o enquadramento de diferentes corpos hídricos, foram estabelecidos padrões para mensurar o estado da água. O objetivo primordial da



utilização desses critérios é manter a saúde e a segurança humana no uso deste recurso natural, e a conservação das espécies aquáticas. Um dos fatores que contribui negativamente para isso, reside na inadequada ocupação da natureza pelo homem, uma vez que a mesma água que atende as suas necessidades de consumo, produção de energia, irrigação e alimentação, também é o local onde as populações se livram de seus resíduos de forma direta ou indireta (OLIVEIRA-FILHO *et al.*, 2011). Diante deste contexto, as pesquisas que utilizam o biomonitoramento têm ganhado destaque, pois conseguem traçar estimativas sobre a qualidade e conservação dos ecossistemas em meio aos impactos de origem antropogênica; caracterizando o seu status aquático por meio da avaliação das condições ambientais em comunidades biológicas (SANTOS *et al.*, 2016).

Para Oliveira-Filho *et al.* (2011), além dos parâmetros físico-químicos já utilizados para verificação da qualidade da água, como: temperatura, pH, condutividade elétrica, demanda bioquímica de oxigênio - DBO e oxigênio dissolvido – OD, entre outros, seria relevante analisar também os indicadores biológicos, uma vez que a análise combinada destas variáveis compreenderia uma análise mais completa de determinado corpo hídrico. Segundo Oliveira e Callisto (2010), o uso de macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores com o objetivo de determinar a qualidade da água, tornou-se uma ferramenta importante, uma vez que este consegue refletir as condições ecológicas e heterogeneidade do habitat em que estão inseridos. Além disso, estes organismos apresentam várias características que os tornam fáceis de estudar e mostrar respostas claras quando em condições ambientais adversas.

Pimenta *et al.* (2016), caracterizam os macroinvertebrados bentônicos como a fauna pertencente a vários táxons (Arthropoda, Mollusca, Annelida, Platyhelminthes, entre outros) retirada de uma coluna de água, que consegue ficar retida em uma malha de 0,2 mm. Sánchez *et al.* (2016) corroboram com a informação acima ao relatarem que uma das vantagens da utilização de bioindicadores reside no fato dos macroinvertebrados conseguirem integrar muito mais parâmetros que os exclusivamente físico-químicos e apresentam um efeito “memória” que registra as mudanças históricas que acontecem nos ecossistemas. Sendo assim, a presença, abundância e ausência destes organismos indicam as condições do corpo hídrico ou de um setor dele.

De acordo com Barbola *et al.* (2011) fenômenos como a eutrofização são capazes de estimular o desenvolvimento de alguns grupos taxonômicos, principalmente os Oligochaeta e Chironomidae com conseqüente redução da biodiversidade pelo desaparecimento de espécies mais sensíveis e crescimento de indivíduos tolerantes as novas condições. Para Terneus-Jácome e Yánez-Moreta (2018), estes grupos podem ser encontrados em diferentes habitats como lagos, rios e reservatórios; e são muito importantes para a cadeia alimentar bentônica, principalmente em águas eutrofizadas ou poluídas (onde atingem densidades populacionais muito altas) servindo de alimentos para peixes bentônicos e turfosos, sanguessugas, nematoides e larvas de insetos. Ainda segundo os autores, a presença de organismos de grupos dos Efêmerópteros, Plecópteros e Tricópteros são indicadores de boa qualidade da água, pois estes costumam habitar águas rápidas, com bastante oxigenação e pouco rasas.

Já os indivíduos do grupo dos Dípteros, Quironomídeos e Ceratopogonídeos e alguns anelídeos ocupam habitats de água barrenta (rasa ou profunda) demonstrando sobreviver em ambientes com alta carga orgânica. Dessa forma, a proporção e riqueza encontrada em associações destes grupos são capazes de fornecer informações precisas sobre a saúde de determinado meio aquático.

### 3.2 Índices bióticos de qualidade da água








Conforme o site da Agência Nacional de Águas – ANA é possível estimar a qualidade da água através do Índice de Qualidade da Água - IQA. Este é calculado a partir de nove parâmetros, que englobam tanto aspectos físico-químicos como microbiológicos, a saber: temperatura da água, pH, oxigênio dissolvido, resíduo total, demanda bioquímica de oxigênio, coliformes termotolerantes, nitrogênio total, fósforo total e turbidez. Embora seja relevante a utilização deste índice para estimar o estado da água, ele não consegue mensurar de forma integrada a qualidade da água e os impactos da contaminação desta sobre os diferentes habitats aquáticos (LIMA *et al.*, 2017).

A partir disso, muitos estudos surgiram com o objetivo de criar um índice biótico capaz de mensurar o estado ecológico de um ecossistema aquático afetado por um processo de contaminação (SÁNCHEZ *et al.*, 2016). Segundo Naranjo-López e

Castillo (2013), a primeira menção de um índice biótico surgiu na Alemanha através dos pesquisadores Kolkwitz e Marsson em meados de 1909. Eles desenvolveram a ideia de saprobidade (nível de poluição) em rios como uma forma de mensurar o grau de contaminação das águas residuárias, com base na densidade de bactérias, fungos, algas e protozoários; que quando presentes em grandes quantidades, provocam a diminuição do oxigênio dissolvido causando efeitos adversos na biota do rio. No continente europeu, muitos pesquisadores se esforçaram para testar a aplicabilidade do sistema sapróbico criado por Kolkwitz e Marsson, levando a criação de novas metodologias que culminaram na criação dos índices bióticos a seguir: Biological Monitoring Working Party Score System – BMWP; o Biological Monitoring Working Party System Average Score Per Taxon (BMWP - ASPT); Hilsenhoff Family Biotic Index – HFBI; Percentage of Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera – EPT e o Índice da Comunidade Bentônica (GONÇALVES; MENEZES, 2011; SÁNCHEZ *et al.*, 2016).

Segundo Yoshida e Uieda (2013), os índices bióticos monométricos são aqueles em que são atribuídos uma determinada pontuação baseada na sensibilidade ou tolerância de determinado táxon frente a degradação ambiental., como o Biological Monitoring Working Party – BMWP. Nele, os organismos mais sensíveis recebem pontos mais altos e os tolerantes recebem pontuação mais baixa, variando em uma escala de 1 a 10. Uma das desvantagens apontadas pelos autores é que alguns grupos encontrados no Reino Unido e, portanto, presentes na formulação original do BMWP não existem no Brasil, corroborando para a necessidade de uma adaptação deste índice a fauna local de macroinvertebrados bentônicos. Além disso, ele pode perder sua precisão se aplicado a ecossistemas aquáticos maiores devido a ampliação da diversidade taxonômica presente naquele habitat. O método original do BMWP, não faz menção a um sistema de classificação da qualidade da água. Costa (2013) utiliza os Índices de Qualidade da Água utilizados pelo Instituto Ambiental do Paraná - IAP para avaliar os seus resultados (obtidos a partir do somatório da pontuação de todas as famílias presentes nos quatro pontos coletados do açude Gavião). Na Tabela 1 verifica-se a relação entre o BMWP e a qualidade da água.

**Tabela 1 - Relação entre o BMWP e a qualidade da água**

Classe	Qualidade	Valor	Significado	Cor
I	Ótima	> 150	Águas muito limpas ou prístinas	
II	Boa	121 - 150	Águas não poluídas ou com sistema perceptivelmente não alterado	
III	Aceitável	101 - 120	Águas muito pouco poluídas ou sistema com poucas alterações	
IV	Duvidosa	61 - 100	Águas poluídas ou contaminadas (sistema com alterações moderadas)	
V	Poluída	36 - 60	Águas poluídas e contaminadas (sistema alterado)	
VI	Muito Poluída (Crítica)	16 - 35	Águas muito poluídas (sistema muito alterado).	
VII	Fortemente Poluída (Muito Crítica)	< 15	Águas fortemente poluídas (sistema fortemente alterado)	

Fonte: Adaptado de Costa (2013).

Para corrigir o problema do uso do BMWP em grandes rios, foi criado o Biological Monitoring Working Party System Average Score Per Taxon (BMWP - ASPT), sendo calculado pela razão da pontuação obtida no índice BMWP e o número de famílias encontradas nos pontos. Este índice serve para confirmar os resultados obtidos pelo BMWP e oferece uma tabela que permite analisar a qualidade da água (Tabela 2) (GONÇALVES; MENEZES, 2011; COSTA, 2013).

Outro parâmetro que pode ser utilizado para mensurar a qualidade da água é o índice Hilsenhoff Family Biotic Index – HFBI que é calculado a partir da equação abaixo:

$$HFBI = \sum ni ai/N \quad (1)$$

Onde, 'ni' é o número de indivíduos de cada família; 'ai' é o valor de tolerância adotado para cada família e 'N' corresponde ao número total de indivíduos analisados. Nele, quanto maior a pontuação menor a qualidade da água e mais suscetível ao estresse se encontra o habitat analisado, conforme demonstrado na Tabela 3 a seguir adaptado

de YAPO *et al.* (2017).

**Tabela 2 - Qualidade da água e valor de ASPT**

Valor de ASPT	Significado
> 6	Água Limpa
5 - 6	Qualidade Duvidosa
4 - 5	Poluição Moderada
< 4	Poluição Grave

Fonte: Costa (2013).

**Tabela 3 – Avaliação da qualidade da água usando o índice HFBI**

Family Biotic Index	Qualidade da Água	Grau de Poluição Orgânica
0,00 - 3,75	Excelente	Poluição orgânica improvável
3,76 - 4,25	Ótima	Possível poluição orgânica leve
4,26 - 5,00	Boa	Alguma poluição orgânica provável
5,01 - 5,75	Razoável	Provável poluição razoavelmente substancial
5,76 - 6,50	Razoavelmente pobre	Provável poluição substancial
6,51 - 7,25	Pobre	Provável poluição muito substancial
7,26 - 10,00	Muito pobre	Provável poluição substancial severa

Fonte: Traduzido de Yapo *et al.* (2017).

A Percentage of Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera - EPT é obtida através das abundâncias relativas de organismos das ordens 'Ephemeroptera', 'Plecoptera' e 'Trichoptera' encontradas em uma amostra em comparação com o número total de indivíduos. A maior abundância relativa desses táxons em amostras coletadas representa uma melhor qualidade da água local, uma vez que os organismos dessas três ordens são sensíveis as substâncias orgânicas e a poluição (GONÇALVES; MENEZES, 2011).

O Índice da Comunidade Bentônica – ICB é obtido através da média ponderada de várias métricas, como por exemplo: a riqueza taxonômica (S); o índice de Diversidade de Shannon-Wiener (H'); o índice de Comparação Sequencial (ICS); a razão Tanytarsini/Chironomidae (Tt/Chi); a dominância de grupos tolerantes a poluição (T/DT) e os números de táxons sensíveis à poluição (Ssens), com consequente diagnóstico da qualidade da água adequados a cada tipo de ambiente (zona sublitoral de reservatórios, zona profundal de reservatórios e rios. Ele é utilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo para mensurar a qualidade de água de diferentes tipos de reservatórios (CETESB, 2011).

Diante do exposto, a possibilidade de utilização de macroinvertebrados bentônicos no biomonitoramento está atrelada ao fato destes organismos não responderem somente as alterações no estado da água, mas sim, a diversos fatores inerentes ao próprio biótopo onde estão inseridos (BARBOZA, 2011). Dessa forma, é necessário investimento em pesquisas que relacionem os parâmetros físico-químicos/microbiológicos (já utilizados para avaliar a qualidade da água) com os apresentados pelos indicadores biológicos com o objetivo de entender de maneira mais integrada quais ações antrópicas estão interferindo na salubridade e conservação dos ecossistemas aquáticos.

#### **4 CONCLUSÕES**

A partir do exposto, pode-se concluir que estudos que tratem da viabilidade dos bioindicadores no monitoramento da estrutura, funcionamento, qualidade e conservação dos ecossistemas são necessários, pois requerem da sociedade a conscientização em relação a preservação do meio ambiente. O cálculo dos índices biológicos demonstra de forma prática, como as ações humanas influenciam no status de qualidade ambiental, permitindo uma avaliação integrada do grau de salubridade de diferentes corpos hídricos.

#### **5 REFERÊNCIAS**

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Indicadores de qualidade - Índice de Qualidade das Águas – IQA**. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 06 mai. 2020.

BARBOLA, I. F.; MORAES, M. F. P. G.; ANAZAWA, T. M.; NASCIMENTO, E. A.; SEPKA, E. R.; POLEGATTO, C. M.; MILLÉO, J.; SCHÜHLI, G. S. Avaliação da comunidade de macroinvertebrados aquáticos como ferramenta para o monitoramento de um reservatório na bacia do rio Pitangui, Paraná, Brasil. **Iheringia**, v. 101, n. 1-2, p. 15-23, 2011.

BARBOZA, Luís Gabriel Antão. **O biomonitoramento aquático como ferramenta de gestão ambiental**. 2011. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Gestão Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2011.

CHAVES, M. de M.; RUVOLO-TAKASUSUKI, M. C. C. *Hydra* (Cnidaria, Hydrozoa) como modelo em estudos de ecotoxicidade: Revisão. **Pubvet**, v. 12, n. 7, p. 1-8, 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO - CETESB. **Relatório de qualidade das águas superficiais - Apêndice D: índices de qualidade das águas**. São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2011.

COSTA, Talitha Rochanne Alves Abreu da. **Avaliação da qualidade de água do reservatório Gavião utilizando macroinvertebrados como bioindicadores**. 2013. 49 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão de Recursos Hídricos) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

CREPALDI, R. A.; PORTILHO, I. I. R.; SILVESTRE, R.; MERCANTE, F. M. Formigas como bioindicadores da qualidade do solo em sistema integrado lavourapeçuária. **Ciência Rural**, v. 44, n. 5, p. 781-787, 2014.

FRANCO, H. A.; FILHO, S. T.; PÉREZ, D. V.; MARQUES, M. R. C. Avaliação do potencial de impacto do lixiviado de aterro sanitário sobre organismos aquáticos. **Gaia Scientia**, v. 12, n. 3, p. 109-116, 2018.

GONÇALVES, F. B.; MENEZES, M. S. de. A comparative analysis of biotic indices that use macroinvertebrates to assess water quality in a coastal river of Paraná state, southern Brazil. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 4, p. 27-36, 2011.

LIMA, T. S.; CANDEIAS, A. L. B.; CUNHA, M. C. C. Bioindicadores e sensoriamento remoto como subsídios à gestão dos recursos hídricos no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 6, p. 1975-1994, 2017.

LOYO, R. M.; BARBOSA, C. S. Bioindicadores para avaliação do risco potencial de transmissão da esquistossomose no açude Apipucos, Pernambuco. **Revista Ambiente Água**, v. 11, n. 1, p. 156-161, 2016.

MAKI, E. S.; SHITSUKA, R.; BARROQUEIRO, C. H.; SHITSUKA, D. M. Utilização de Bioindicadores em Monitoramento de Poluição. **Biota Amazônia**, v. 3, n. 2, p. 169-178, 2013.

NARANJO-LÓPEZ, J. C.; CASTILLO, P. L. D. Biological monitoring working party, un

índice biótico com potencialidades para evaluar la calidad de las aguas en ríos cubanos. **Ciencia en su PC**, n. 2, p. 15-25, 2013.

OLIVEIRA, A.; CALLISTO, M. Benthic macroinvertebrates as bioindicators of water quality in an Atlantic forest fragment. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 100, n. 4, p. 291-300, 2010.

OLIVEIRA, M. A. DE.; GOMES, C. F. F.; PIRES, E. M.; MARINHO, C. G. S.; LUCIA, T. M. C. D. Bioindicadores ambientais: insetos como um instrumento desta avaliação. **Revista Ceres**, v. 61, p. 800-807, 2014.

OLIVEIRA-FILHO, E. C.; RAMOS, M. G.; FREIRE, I. S.; MUNIZ, D. H. de F. Comparison between the efficiency of two bioindicators for determining surface water quality in an urban environment. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, v. 33, n. 3, p. 311-317, 2011.

PIMENTA, S. M.; BOAVENTURA, G. R.; PEÑA, A. P.; RIBEIRO, T. G. Estudo da qualidade da água por meio de bioindicadores bentônicos em córregos da área rural e urbana. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 1, p. 199-210, 2016.

RITZINGER, C. H. S. P.; FANCELLI, M.; RITZINGER, R. Nematoides: bioindicadores de sustentabilidade e mudanças edafoclimáticas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 4, p. 1289-1296, 2010.

SÁNCHEZ, B. L. M.; RIVERO, A. E. G.; CASTILLO, P. L. D.; GARCÍA, G. A.; CHÁVEZ, E. S. Calidad de las aguas del río Ariguanabo según índices físico-químicos y bioindicadores. **Ingeniería Hidráulica y Ambiental**, v. 37, n. 2, p. 108-122, 2016.

SANTOS, L. B. dos.; CORREIA, D. L. S.; SANTOS, J. C. Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores do impacto urbano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 1, n. 1, p. 34-42, 2016.

SILVA, K. W. dos S.; MELO, M. A. D. de.; EVERTON, N. dos S. Aplicação dos índices biológicos Biological Monitoring Working Party e Average Score per Taxon para avaliar a qualidade de água do rio Ouricuri no Município de Capanema, Estado do Pará, Brasil. **Rev Pan-Amaz Saude**, v. 7, n. 3, p. 13-22, 2016.

SOUZA, E. F. de; NOBREGA, M. A. dos S.; PONTES, M. da S. Musgos como bioindicadores de metais pesados no ambiente. **Acta Biomedica Brasiliensia**, v. 8, n. 2, p. 13-22, 2017.

TERNEUS-JÁCOME, E.; YÁNEZ-MORETTA, P. Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en Ecuador. La Granja. **Revista de Ciencias de la Vida**, v. 27, n. 1, p. 36-50, 2018.

YAPO, M. L.; TUO, Y. KONE, M.; ATSE, B. C.; KOUASSI, P. Can use the Biotic Index as an indication of fish farm pond water quality?. **Journal of Advanced Botany and Zoology**, v. 4, n. 4, p. 1-7, 2017.

YOSHIDA, C. E.; UIEDA, V. S. Índices bióticos mono e multimétricos de avaliação da qualidade da água em riachos de Mata Atlântica. **Bioikos**, v. 27, n. 2, p. 79-88, 2013.





# I SIMPÓSIO DE MEIO AMBIENTE E ENERGIA



## **TRABALHOS DA ÁREA DE TECNOLOGIAS AMBIENTAIS**

### **A IMPORTÂNCIA DA LOGÍSTICA REVERSA NA PRESERVAÇÃO AMBIENTAL**

**Luís de F. C. Neto<sup>\*1</sup>, Luís C. B. Aguiar<sup>2</sup>, Francisco B. Aguiar<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Pós-Graduação em Gestão Escolar e Coordenação Pedagógica (Grupo Prominas),

Universidade Federal de Viçosa, \*e-mail: luiscamboim@uol.com.br.

<sup>2</sup>Universidade Vale do Acaraú.

<sup>3</sup>Universidade Federal do Ceará.

**RESUMO:** A importância da Logística Reversa na preservação do meio ambiente é uma realidade no Brasil, principalmente após a implantação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, em 2010. Nesse aspecto, o objetivo desta pesquisa é analisar a importância da logística reversa na preservação ambiental e seus benefícios para a sociedade. A logística reversa traz os resíduos dos diversos destinos para os centros de triagens que acondicionam e realizam os tratamentos adequados. É uma prática que tem como foco o retorno de materiais já utilizados, sendo os mesmos reaproveitados ou com descarte apropriado. Para tanto realizou-se uma pesquisa bibliográfica considerando contribuições de autores como Camboim Neto, Carvalho, Corson, Novaes, Reigota, bem como informações da Constituição Federal de 1988, Leis e Decretos ambientais. Conclui-se que a logística reversa é uma atividade recente e surgiu, quando leis foram criadas para minimizar os impactos ambientais, advindo do consumo exagerado e da destinação inadequada de alguns resíduos sólidos que impactavam o meio ambiente. A Logística Reversa promove o desenvolvimento sustentável através do reaproveitamento de inúmeros resíduos, sendo uma ação ecologicamente correta, socialmente justa e economicamente viável.

**Palavras-chave:** Logística reversa. Meio ambiente. Resíduo sólido

**ABSTRACT:** The importance of reverse logistics in preserving the environment is a reality in Brazil, this happened mainly in 2010 after the implementation of the National Solid Waste Policy. In this sense, this research aims to analyze the importance of reverse logistics in environmental preservation and its benefits for society. In reverse logistics, waste is brought from various places to the sorting centers. In reverse logistics, waste is brought from various locations to the sorting centers that condition and perform the proper treatment of this waste. Reverse logistics focuses on the reuse and proper disposal of materials. This research is characterized as bibliographical and considers the contribution

of authors such as Camboim Neto, Carvalho, Corson, Novaes, Reigota. This work considers information from the Federal Constitution of 1988, Environmental Laws and Decrees. It is concluded that reverse logistics is a recent activity. These environmental impacts are the result of excessive consumption and the improper disposal of some solid waste. Reverse Logistics promotes sustainable development through the reuse of countless residues, it is an ecologically correct, socially just and economically viable action.

**Keywords:** Reverse logistic. Environment. Solid Waste.

## 1 INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como tema a importância da logística reversa na preservação ambiental, principalmente aquela relacionada ao descarte de resíduos, após uso e quando por ocasião do seu descarte. Nesta perspectiva, a pesquisa sobre logística reversa, fundamentou-se em:

- Qual importância da logística reversa na preservação ambiental?
- Quais benefícios a Logística Reversa traz para a sociedade?

A logística reversa é um tema bastante abordado na atualidade, haja vista sua importância o meio ambiente. Sabemos que alguns resíduos quando são lançados no ambiente levam décadas para se decompor, além do impacto ambiental imensurável, traz danos tanto aos recursos naturais. Nesse sentido, a logística reversa, conjunto de processos que gerenciam a obtenção, armazenamento, transformação e transporte de inúmeros produtos tem um papel relevante na destinação adequada de inúmeros resíduos porque ela segue o caminho. Enquanto a logística tradicional leva os produtos para seus diversos destinos, a logística reversa traz os resíduos desses diversos destinos para que os centros realizem um acondicionamento e tratamento adequados.

A adoção pela logística reversa se deve a vários motivos, desde o recebimento do produto que o cliente desistiu, troca de produtos trocados, até o recebimento do

produto após uso e quando por ocasião do seu descarte. Contudo, sua maior aplicação hoje, tem sido no sentido ambiental, isto é, produtos que chegaram ao fim de sua vida útil, ao invés de serem descartados, são enviados a centros de tratamento para neutralização de seu impacto ambiental, através de um descarte adequado. Outro aspectos relevantes da adoção da Logística Reversa está ligado a destinação final de alguns resíduos, que por suas características não são aceitos em aterros sanitários, sendo descartados em lixões, trazendo uma série de impactos, tais como: poluição do solo, hídrica, atmosférica (quando são queimados nos lixões), dentre outras.

Neste aspecto a pesquisa tem como objetivo, identificar a importância da logística reversa na preservação ambiental e seus benefícios para a sociedade. Para tanto, utilizou-se como recurso metodológico, a pesquisa bibliográfica, buscando material publicado em meio eletrônico, como Artigos, Dissertações e Teses, além de livros sobre o assunto e Decretos e Leis ambientais. O consumo como forma de desenvolvimento da sociedade contemporânea sempre foi amplamente incentivado como alternativa para o progresso econômico moderno (COSTA; SILVA; CAMBOIM NETO, 2017). Como o impacto das influências humanas cresceu, segundo Corson (2002), da mesma forma, aumentaram os riscos associados a tais impactos.

Como resultado, segundo Carvalho (2015) houve um incremento de demanda por recursos naturais para a fabricação de materiais e uma maior quantidade e diversidade de resíduos sendo gerados e depositados de forma inadequada sobre a Terra, acarretando a degradação do meio ambiente, isso dentro de um contexto local cuja dimensão tem abrangência global. Essa face da gravidade dos problemas ambientais identificados em todo o planeta. A Assembleia Geral das Nações Unidas indicou em 1983, indicou a primeira-ministra norueguesa, Gro Harlem Brundtland para formular uma lista de mudanças necessária para o mundo alcançar o desenvolvimento Sustentável. Seu relatório intitulado “Nosso Futuro Comum” ficou conhecido como Relatório de Brundtland conceituando Desenvolvimento sustentável como: aquele que atende as necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades (BARRADAS, 1999).

Segundo Vieira e Brendariol (1998) a legislação brasileira garante o direito do cidadão ao ambiente limpo. O meio ambiente é um bem público de uso comum.

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações. (BRASIL, 1888, p. 1.)

Segundo Camboim Neto (2008a) a falta de conscientização e respeito do ser humano contribui sobremaneira para a degradação ambiental acelerada. O desperdício e o uso inadequado dos recursos naturais, o errado descarte de lixo e outros resíduos vêm interferindo nos sistemas ecológicos com redução na qualidade de vida. O Lixo é um grave problemas enfrentados pelo poder público, principalmente nos municípios, que defrontam com escassez de recursos financeiros para investir na coleta, no processamento e na disposição final dos resíduos. Certos materiais, inclusive, podem levar até 400 anos para se decompor no ambiente (CAMBOIM NETO, 2010). Para Reigota (2014) esses problemas ambientais foram criados por homens e mulheres e deles virão as soluções. Estas não serão obras de gênios, de políticos ou tecnocratas, mas sim de cidadãos e cidadãs. Neste aspecto é importante conhecer os elementos dos sistemas ecológicos, assim como seu funcionamento, para avaliar as condições ambientais existentes, e fornecer subsídios para redução dos impactos ambientais nos ecossistemas (CAMBOIM NETO, 2008a).

Em 2010 a Lei nº 12.305 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), dispondo sobre seus princípios, objetivos e instrumentos, bem como sobre as diretrizes relativas à gestão integrada e ao gerenciamento de resíduos sólidos, incluídos os perigosos, às responsabilidades dos geradores e do poder público e aos instrumentos econômicos aplicáveis não avançou de forma satisfatória (BRASIL, 2010). Em 2017, com o Decreto nº 9177, é que os fabricantes, os importadores, os distribuidores e os comerciantes de produtos, seus resíduos e suas embalagens aos quais se refere o caput do art. 33 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, e de outros produtos, seus resíduos ou suas embalagens objeto de logística reversa na forma do § 1º do referido artigo, não signatários de acordo setorial ou termo de compromisso firmado com a União, são obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, consideradas as mesmas obrigações imputáveis aos signatários e aos aderentes de acordo setorial

firmado com a União (BRASIL, 2017).

Uma vez que tanto a população, quanto o volume de detritos estão crescendo a cada ano, urgência para se agir é muito grande. O lixo é gerado em cada estágio de nosso uso de materiais, de sua extração e processamento a seu abandono como itens usados. Essas sobras são variadamente denominadas de refugo, sucata, entulho, restos e rejeitos - dependendo de que tipo de material se trata e de onde estão, e do ponto de vista de quem fala. Parte desse material pode ser recuperado e reutilizado como recursos secundários - materiais que podem substituir recursos primários (virgens), os quais de outra forma teriam de ser extraídos da terra ou obtidos de outras fontes, como florestas, a custos mais elevados (CORSON, 2002, p. 267).

Reverter esse quadro, antes de tudo, segundo Camboim Neto (2008b) é urgente e necessário para que possamos mudar essa concepção de que a terra tem poder de depurar os efeitos antropogênicos sem a participação do homem na melhoria da qualidade de vida e reconstrução de um ambiente ecologicamente saudável.

Segundo Novaes (2007) à medida que o consumidor vai vivenciando situações positivas no uso ou no consumo dos produtos, à medida que vê atendidas suas reclamações e respondidas suas dúvidas, e à medida que vai conhecendo mais de perto o varejista, acreditando em suas afirmações e promessas, sua confiança no sistema vai aumentando gradativamente. Essa confiança se espalha pela família e pelos amigos, criando uma imagem positiva, com benefícios palpáveis para toda a cadeia de distribuição. Em função deste fato, há também um grande interesse em torno do tema “Logística Reversa”, cujo conceito pode ser definido como o processo de planejamento, implantação e controle eficiente e eficaz dos custos, dos fluxos de matérias primas, produtos em estoque, produtos acabados e informação relacionada, desde o ponto de consumo até um ponto de reprocessamento, com o objetivo de recuperar valor ou realizar a disposição final adequada do produto (SHIBAO; MOORI; SANTOS, 2010).

Também se vem notando um crescente interesse pela Logística Reversa, que trata do processo de recuperação de materiais diversos (alumínio, papel, plástico, baterias, pilhas) através da reciclagem. Para que a reciclagem seja possível e

economicamente viável, é preciso dispor de um sistema de coleta, transporte e tratamento do material a ser aproveitado. Causa espécie, no Brasil, o fato de se observar baixíssimo índice de reaproveitamento de papel pela indústria do setor, quando, nos países desenvolvidos, esse índice é bastante significativo (NOVAES, 2007). Para Soares, Rodrigues e Gonçalves (2012) muitos produtos se tornam obsoletos, danificados, ou não funcionam e de algum modo devem retornar ao seu ponto de origem, à empresa que o fabricou para serem descartados de forma adequada, seja para reparos ou para serem reaproveitados na produção. Do ponto de vista financeiro, fica evidente que além dos custos de compra de matéria prima, produção, armazenagem e estocagem, o ciclo de vida inclui também outros custos que estão relacionados a todo o gerenciamento do seu fluxo reverso. Do ponto de vista ambiental, esta é uma forma de avaliar qual o impacto que um produto traz ao meio ambiente durante toda sua vida.

Nesse aspecto Ávila e Griebeler (2013) salientam que a Logística Reversa vem ganhando espaço nas organizações tornando-se um diferencial competitivo para as empresas, proporcionando Responsabilidade Socioambiental e redução dos custos dos insumos de produção, gerando retorno financeiro e competitividade. Através da coleta seletiva usa-se a logística reversa como um dos meios de coleta dos resíduos sólidos. A coleta seletiva traz para a sociedade mais empregos, menos gastos com os produtos que já foram reciclados e menos lixões e aterros sanitários, pois os dejetos que iriam ser despejados nos mesmos estão sendo reutilizados para fazer novos produtos. Para que a coleta seletiva possa acontecer, o material que irá ser recolhido deve ser sempre separado e acondicionado (SOARES; RODRIGUES; GONÇALVES, 2012).

Ao operacionalizar o fluxo desde a coleta dos bens de pós-consumo ou de pós-venda, há agregação de valor econômico, legal, ambiental e de localização. Esta operacionalização se dá por meio dos processos logísticos de consolidação, separação e seleção, até a reintegração ao ciclo produtivo. Desta forma, as empresas precisam estar atentas para este novo nicho de negócio, pois a responsabilidade socioambiental está em pauta em todas as discussões, tanto nas academias como em assuntos do governo federal, trazidas por organizações não governamentais. Embora o assunto esteja mais avançado em países desenvolvidos do que em países em desenvolvimento, faz-se necessário abordá-lo neste estudo (AVILA; GRIEBELER, 2013). A partir do



processo de reciclagem abram-se as portas para novos empregos, para aqueles que através do roubo da marginalização, descobrem na reciclagem uma vida nova, tanto para eles como para os materiais. Inicia-se as cooperativas de reciclagem, oportunidades para todo e qualquer cidadão, projetos de mobilização comunitária, exercícios de cidadania para a busca de soluções para a questão do lixo (SOARES; RODRIGUES; GONÇALVES, 2012).

Em pesquisa realizada sobre Logística Reversa, Cerqueira e Fernandes (2017) afirmaram que há diversas formas de aplicabilidade da logística reversas, como geração de renda, mitigação de prejuízos, reutilização dos produtos após seu ciclo de vida, entre outros fatores, tanto no curto, quanto no longo prazo, tornando a economia mais sustentável e elevando a competitividade de forma sustentável. Por meio dos pontos destacados, perceberam que a logística reversa devia ser aplicada desde o desenvolvimento dos produtos, observando melhores formas de envasamento, armazenamento, durabilidade, validade, disposição dos mesmos e o retorno ao ponto de fabricação dos itens avariados ou devolvidos por quaisquer outros motivos. Salientam ainda, que é preciso observar a legislação ambiental, adequando-se a mesma e aplicando as recomendações e exigências das leis e decretos. Todos esses esforços tendem a retornar a empresa da melhor forma possível, ou seja, a confiança do consumidor nos produtos disponibilizados no mercado.

Para Ávila e Griebeler (2013) a Logística Reversa inicia no cliente usuário final e termina no fornecedor – origem da matéria-prima – ou seu início pode se dar em qualquer instante da cadeia produtiva e terminar também em qualquer nível desta mesma cadeia. E que é necessário criar canais de distribuição reversos e que podem ser classificados como de pós-consumo e de pós-venda. Esses canais de distribuição são responsáveis pelos produtos que se tornam obsoletos, danificados, ou que não funcionam e devem retornar ao seu ponto de origem para serem adequadamente descartados, reparados ou reaproveitados. Ao reduzir, reutilizar, reciclar, respeitar e repensar o ciclo do lixo, as pessoas impedirão a poluição de rios e lagoas e diminuindo os locais de depósito (CAMBOIM NETO, 2010).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa a sobre a importância da logística reversa na preservação ambiental foi caracterizada como indireta, bibliográfica e documental e qualitativa. Uma pesquisa indireta segundo Severino (2016) constitui na reflexão de um determinado conhecimento que exige domínio de uma série de informações. Nesse aspecto visa coletar elementos relevantes para o estudo em geral dentro da área a ser estudada. Há várias técnicas de pesquisas e dentre elas a pesquisa bibliográfica que utiliza fontes constituídas por material já elaborado, constituído basicamente por livros e artigos científicos localizados em bibliotecas. Enquanto a pesquisa documental utiliza fontes primárias, ou seja, dados e informações que ainda não foram tratados científica ou analiticamente (GIL 1999; MARCONI; LAKATOS, 2018)

Para o presente trabalho a fundamentação teórica ou revisão bibliográfica usou-se informações dos seguintes autores (CAMBOIM NETO, CARVALHO, CORSON, BARRADAS, NOVAES, REIGOTA), dentre outros. Também se buscou informações na Constituição Federal de 1988, além da Política Nacional de Resíduos Sólidos: Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010 e Decreto nº 9.177, de 23 de outubro de 2017.

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Como resultado das pesquisas foi percebido que a cada 1000 (mil) habitantes 1 (um) é catador; coleta-se no Brasil diariamente 125,281 mil toneladas dos resíduos domiciliares (SOARES; RODRIGUES; GONÇALVES, 2012). Aqui estão incluídos diversos resíduos, principalmente alguns que poderiam fazer parte de um programa de logística reversa. A reciclagem de latas de alumínio estimula o desenvolvimento de novos segmentos, como o de fabricantes de máquinas para amassar e prensar as latas e coletores. Motiva o envolvimento de ambientalistas, gestores de instituições públicas e privadas que buscam a sustentabilidade de ações industriais (MATTOS; SANTOS, 2014).

A utilização da matéria-prima reciclada pode diminuir os custos da empresa, através da economia com energia elétrica, água, mão-de-obra por utilizar uma matéria-prima já trabalhada, necessitando de um sistema de logística reversa que gerencie esse fluxo. A discussão quanto aos aspectos de sucesso neste processo de Logística Reversa

apresenta segundo Souza e Fonseca (2009) pontos interessantes e muitas são as questões envolvidas ao longo do processo. Para uma análise mais objetiva, segue abaixo reflexão que demonstra de uma forma macro estas questões referentes à Logística Reversa, conforme Quadro 1.

**Quadro 1 - Vantagens e desvantagem sobre o ponto de vista da logística reversa**

TIPO	ASPECTO RELEVANTE
Vantagem ecológica	Eliminação da geração de resíduos de papel. Reciclagem das revistas e Jornais danificados. Economia de recursos naturais.
Vantagem econômica	Retorno de parte dos investimentos no momento que as revistas e jornais retornam às bancas em forma de promoções e/ou transformam-se em papéis reciclados, voltando ao fluxo direto. Redução dos custos das matérias-primas: a pasta de aparas é mais barata que a celulose de primeira.
Vantagem Logística	Redução na complexidade da operação: Fluxo de retorno, pode ser feito em conjunto com o fluxo direto.
Desvantagem Logística	Dificuldade de rastreamento das revistas e jornais, do momento de retorno até o seu destino final (reciclagem e/ou reaproveitamento).

Fonte: Souza e Fonseca (2009).

Dentro da logística reversa existe uma grande quantidade de ramos nos quais os produtos ou as embalagens precisam retornar após o consumo, além é claro do retorno pós-venda, que é quando o cliente exerce o direito de devolver o produto (FRETE COM LUCRO, 2016). A seguir segue os principais materiais que podem ter seu caminho de volta na logística reversa, conforme Quadro 2.

**Quadro 2 – Material que podem ter seu caminho de volta na logística reversa**

MATERIAL	DISCRIMINAÇÃO
Pneus	Por serem resíduos de difícil decomposição, os pneus inservíveis, se descartados de forma inadequada na natureza, podem gerar prejuízos enormes para o meio ambiente e para a saúde das pessoas.
Óleos lubrificantes	O Brasil é, como você deve saber, autossuficiente em petróleo, porém precisa importar óleos lubrificantes, isto porque a quantidade extraída da produção de petróleo não é suficiente para atender à demanda do país.
Baterias automotivas	As indústrias de baterias têm a responsabilidade de fazer a logística reversa, por isso elas fazem acordos com sucateiros que levam até elas as baterias usadas. Estas baterias são então levadas até empresas especializadas para desmontagem e aproveitamento do: Chumbo; Plástico; e, Ácido.
Embalagens de agrotóxicos	Quando o assunto é a logística reversa das embalagens de agrotóxicos o Brasil é referência mundial, com 94% destas embalagens sendo retornadas para a reciclagem. Por ser um mercado já maduro, o espaço para o transportador é pequeno, mesmo assim achei importante destacar por tratar-se de um exemplo a ser seguido pelos outros ramos da logística reversa.
Eletroeletrônicos	O consumo de eletroeletrônicos no Brasil e o no mundo é cada vez maior e o tempo de uso destes aparelhos cada vez menor. Agora imagine a quantidade de lixo eletrônico que se forma toda vez que estes produtos são descartados. Mesmo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos implantada, ainda existem enormes desafios e oportunidades neste ramo.

Lâmpadas fluorescentes	<p>No Brasil são consumidas cerca de 100 milhões de lâmpadas fluorescentes por ano. Desse total, 94% são descartadas em aterros sanitários, sem nenhum tipo de tratamento, contaminando o solo e a água com metais pesados. Isto significa que, além de ser um enorme problema ambiental, existe uma grande oportunidade comercial para ser explorada.</p>
Medicamentos vencidos	<p>Estima-se que quase 90% dos medicamentos vencidos estão nas casas dos consumidores.</p> <p>Quando estes medicamentos finalmente forem descartados, o destino será o lixo comum, o que é um grande erro por parte da população.</p> <p>O problema é que não existem ainda leis claras que regulamentem a logística reversa de medicamentos.</p>
Construção civil	<p>A logística reversa da construção civil tem enormes oportunidades, uma vez que praticamente tudo o que sobra nos canteiros de obra é descartado.</p> <p>No meio dos descartes muita coisa pode ser reaproveitada e recolocada no mercado, trazendo lucros para quem opera, para o meio ambiente e para a sociedade.</p> <p>Dentre os tipos de materiais que sobram nas obras destacam-se:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Madeiras;</li> <li>Pregos;</li> <li>Gesso; e,</li> <li>Areia e pedra.</li> </ul>
Vidros	<p>Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Vidro (ABIVIDROS), existe um mercado potencial desperdiçado de R\$ 8 bilhões com a reciclagem de vidros.</p> <p>Desde garrafas até vidros automotivos, 40% de tudo o que é descartado todos os dias não é reaproveitado.</p> <p>Se por um lado isto traz um prejuízo ambiental muito</p>

	grande, por outro existe uma enorme oportunidade, inclusive para o transportador.
E-commerce	<p>Este é o 10º tipo de logística reversa e, diferente de todos os outros que eu citei até aqui, não pertence ao canal de pós-consumo, em que os produtos já foram consumidos ou estão vencidos.</p> <p>No e-commerce, a logística reversa trata dos produtos que, por alguma razão, devem retornar ao fabricante ou à empresa que vendeu, logo após a venda.</p> <p>O e-commerce fatura atualmente quase R\$ 60 bilhões por ano no país, sendo que aproximadamente R\$ 3 bilhões em produtos necessitam da logística reversa, pois precisarão retornar aos vendedores.</p>

Fonte: Frete com Lucro (2016).

#### 4 CONCLUSÕES

Nesses estudos identificamos que a Logística Reversa ou Logística Inversa é uma prática que tem como foco o retorno de materiais já utilizados, haja vista o seu reaproveitamento ou descarte apropriado já que não podem ser descartados no ambiente. A logística reversa é uma atividade recente e surgiu, quando leis foram criadas para minimizar os impactos ambientais, advindo dom consumo exagerado e a não destinação adequada de alguns resíduos que impactavam o meio ambiente.

Dessa forma a pesquisa revelou que há diversas formas de aplicabilidade da logística reversas, tanto na geração de renda quanto na mitigação de prejuízos, e mais ainda na reutilização dos produtos após seu ciclo de vida, entre outros fatores. Ficou evidente na pesquisa que a Logística Reversa inicia no cliente usuário final e termina no fornecedor – origem da matéria-prima – ou seu início pode se dar em qualquer instante da cadeia produtiva e terminar também em qualquer nível desta mesma cadeia.

Sendo assim, observamos na pesquisa que a Logística Reversa vem ganhando espaço nas organizações tornando-se um diferencial competitivo para as empresas, proporcionando Responsabilidade Socioambiental e redução dos custos dos

insumos de produção, gerando retorno financeiro e competitividade. Percebemos que a coleta seletiva é uma ferramenta importante na Logística Reversa devida a mesma trazer para a sociedade mais empregos, menos gastos com os produtos que já foram reciclados e menos lixões e aterros sanitários, reduzindo os impactos ambientais.

Finalizamos, enfatizando que a Logística reversa é um instrumento de desenvolvimento econômico e social que apresenta uma série de ações, benéficas aos meios destinados, possibilitando o reaproveitamento de inúmeros resíduos, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.

## 5 REFERÊNCIAS

ÁVILA, D. F. de.; GRIEBELER, M. P. D. Logística reversa: um diferencial competitivo para as organizações. **Revista de Administração**, v. 11. n. 19. p. 65-82, 2013.

BARRADAS, M. N. **Desenvolvimento sustentável: em busca da operacionalização**. 1 ed. Fortaleza: UFC- Casa de José de Alencar - Programa Editorial, 1999. v. 1, p. 35-50.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**: texto constitucional promulgado em 5 de outubro de 1988, com as alterações determinadas pelas Emendas Constitucionais de Revisão nos 1 a 6/94, pelas Emendas Constitucionais nos 1/92 a 91/2016 e pelo Decreto Legislativo no 186/2008. – Brasília: Senado Federal, Coordenação de Edições Técnicas, 2016. 496 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Decreto nº 9.177, de 23 de outubro de 2017. Regulamenta o art. 33 da Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, e complementa os art. 16 e art. 17 do Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010 e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 204, 24 out. 2017. Seção 1, p. 1.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 147, 03 ago. 2010. Seção 1, p. 3.

CAMBOIM NETO, L. F. A harmonia dos sistemas ecológicos. **Kairós - Revista Acadêmica da Prainha**, ano V, n. 2, p. 366 – 374, 2008a.

CAMBOIM NETO, L. F. Os resíduos e os impactos ambientais. **Kairós - Revista Acadêmica da Prainha**, ano V, n. 2, p. 375 – 393, 2008b.

CAMBOIM NETO, L. F. Projeto incentiva discussão sobre destino do lixo. **Revista FIEC**. Fortaleza: Sistema Federação das Indústrias do Estado do Ceará. Ano IV, n. 41, p. 9 -11, 2010.

CARVALHO, Dacifran Cavalcanti. **Gestão de gerenciamento de resíduos de equipamentos eletrônicos: campus central da UFRN em análise.** 2015. 104 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

CERQUEIRA; A. E. F. de; FERNANDES, J. L. Abordagens sobre logística reversa: conceitos, aplicação e sustentabilidade. **Projectus**, v. 2. n. 1. p. 117-127, 2017.

CORSON, W. H. **Manual global de ecologia: o que você pode fazer a respeito da crise do meio ambiente.** 4. ed. São Paulo: Augustus, 2002. 412 p.

COSTA, J. E.; SILVA, E. N.; CAMBOIM NETO, L. F. Reaproveitamento do óleo residual de frituras para produção de biodiesel. *In*: UNIVERSO FATENE, 6. 2017, Caucaia. **Anais [...]**. Caucaia: Faculdade de Tecnologia do Nordeste, 2017. p. 3024 - 330.

FRETE COM LUCRO. **Logística Reversa: 10 Tipos Para Você Transportar.** Página modificada em 4 abr. 2016, Canoas – RS, 2016. Disponível em: <https://fretecomlucro.com.br/logistica-reversa/>. Acesso em: 2 nov. 2020.

MARCONI, M.; LAKATOS, E. **Metodologia do trabalho científico.** 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018. 256 p.

MATOS, W. C.; SANTOS, S. S. A logística reversa como ferramenta competitiva e de sustentabilidade ambiental. **Revista Ensaios & Diálogos**, n. 7, p. 94 – 104, 2014.

NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição.** 11 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 404 p.

REIGOTA, M. **O que é educação ambiental.** 2. ed. São Paulo: Brasiliense, 2014. 110 p.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico.** 24. ed. rev. e atual. São Paulo: Cortez, 2016. 226 p.

SHIBAO, F. Y.; MOORI, R. G.; SANTOS, M. R. dos. A logística reversa e a sustentabilidade empresarial. *In*: SEMINÁRIOS EM ADMINISTRAÇÃO, 13, 2010, São Paulo. **Anais [...]** São Paulo, FEA-USP, 2010.

SOARES, T. A.; RODRIGUES, P. T.; GONÇALVES, G. I. **A importância da logística reversa no âmbito social, ambiental e econômico.** Faculdade de Tecnologia de Jahu – FATEC, Jahu – SP. 2012. Disponível em: [http://www.fatecguaratingueta.edu.br/fateclog/artigos/Artigo\\_58.PDF](http://www.fatecguaratingueta.edu.br/fateclog/artigos/Artigo_58.PDF). Acesso em: 2 nov. 2020.

SOUZA, S. F.; FONSECA, S. U. L da. Logística reversa: oportunidades para redução de custos em decorrência da evolução do fator ecológico. **Revista Terceiro Setor**, v.3, n.1, p. 1-12, 2009.

VIEIRA, L.; BENDARIOL, C. **Cidadania e política ambiental.** Rio de Janeiro: Record. 1908.



**AÇÕES DE ATUAÇÃO SOBRE BOAS PRÁTICAS DE GESTÃO DE RESÍDUOS  
URBANOS EM UMA OCUPAÇÃO DE BELO HORIZONTE**

**André L. B. Mello<sup>1</sup>, Sandra S. Caeiro<sup>1</sup>, Camila M. Assis<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Aberta de Portugal, Centro de Investigação em Ambiente e Sustentabilidade, Faculdade de Ciências e Tecnologia, \*e-mail:

1700952@estudante.uab.pt.

<sup>2</sup>Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais.

**RESUMO:** Com a falta de moradia adequada em decorrência do aumento da população nas cidades, o presente trabalho tratou-se de uma investigação-ação que teve por objetivo implantar práticas sustentáveis em uma comunidade sem infraestrutura urbana, oferecendo possíveis soluções para os resíduos domésticos descartados outrora sem critério, através da educação para o desenvolvimento Sustentável. Conscientizando moradores através de oficinas promovidas dentro da própria comunidade, usando a estrutura da escola pública mais próxima – Escola Municipal Professor Daniel Alvarenga –, como também, do Centro de Referência da Assistência Social (CRAS) da região. Em função da condição de abandono dos órgãos públicos, a ocupação Rosa Leão se encontra sem nenhum tipo de gestão de resíduos e possuía a maioria das residências sem saneamento básico. Com isso, todo o processo que teve por intuito melhorar a qualidade de vida dos moradores, obteve os seus dados através da observação participante e entrevistas direcionadas para uma amostra intencional, para que o investigador pudesse mensurar o quanto colaborou na transformação dos hábitos dos moradores da comunidade em relação à gestão dos resíduos urbanos.

**Palavras-chave:** Crescimento das Cidades. Educação para o Desenvolvimento Sustentável. Ocupações Urbanas. Gestão de Resíduos.

**ABSTRACT:** With the lack of adequate housing due to the increase in the population in the cities, the present work was an investigation-action aimed at implementing sustainable practices in a community without urban infrastructure, offering possible solutions for the domestic waste discarded previously without criterion, through education for Sustainable development. Raising awareness among residents through workshops promoted within the community, using the structure of the nearest public school - Escola Municipal Professor Daniel Alvarenga -, as well as the Reference Center for Social Assistance (CRAS) in the region. Due to the condition of abandonment of public agencies, the

occupation Rosa Leão was without any type of waste management and had most of the homes without basic sanitation. With this, the whole process aimed improving the quality of life of the residents, obtained their data through participant observation and interviews directed to an intentional sample, so that the researcher could measure how much he collaborated in transforming the habits of the residents of the community related with urban waste management.

**Keywords:** Growth of Cities. Education for Sustainable Development. Urban Occupations. Waste Management.

## 1 INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado das cidades expressa o efeito das transformações do quadro social brasileiro dos últimos anos. O número de pessoas que ocupavam as áreas urbanas em 1960 era de 44,7% da população total; aumentando para 84,3% em 2010 a quantidade de brasileiros que passaram a viver em grandes centros (CALDAS, 2014). Esse crescimento apresenta uma série de inconvenientes para as administrações regionais de cada cidade; pois, muitos municípios encontram dificuldades de planejar ações em consonância com a demanda por novas moradias, culminando no surgimento de ocupações clandestinas sem nenhum planejamento prévio gerando impactos ambientais diretos que favorecem o surgimento de doenças em virtude da falta de gerenciamento de resíduos produzido por seus moradores. Portanto, torna-se necessário sensibilizá-los e educá-los sobre essas questões.

De acordo com Vygotsky (1978), para que uma nova competência aprendida possa ser internalizada de forma que se torne um hábito, necessário se faz que essa operação – que inicialmente se apresentou como uma atividade externa – possa ser trabalhada nos indivíduos para serem reconstruídas ao ponto de passarem a ocorrer internamente de forma natural. Com isso, todo o processo de mudança de padrões e costumes carece de uma porção de tempo e empenho por parte dos agentes de transformação. Encarando a mudança não como um fim, mas como um processo contínuo que trabalhe os indivíduos desde as suas bases até o ponto em que ele perceba

que os novos padrões de conduta oferecem mais benefícios individuais e coletivos.

O presente trabalho, que ainda se encontra em fase final de desenvolvimento, teve por objetivo avaliar se ocorreu uma transformação positiva nos hábitos dos moradores do aglomerado em relação à adequada gestão dos resíduos urbanos, após as ações realizadas.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A comunidade selecionada para este trabalho está situada no município de Belo Horizonte, capital do estado de Minas Gerais (Brasil). Ela compõe um grupo de outras invasões ocorridas desde o ano de 2013 em uma área de mais de 900.000 m<sup>2</sup>, dividida em quatro ocupações menores<sup>1</sup>: Vitória, Esperança, Helena Greco e Rosa Leão – esta última sendo a escolhida para a investigação. Pois, da mesma forma como as outras três, nela se encontram pessoas que vivem em risco e vulnerabilidade social; sendo estes “conceitos distintos, mas intrinsecamente relacionados, pois, enquanto risco se refere às condições fragilizadas da sociedade tecnológica contemporânea, vulnerabilidade identifica a condição dos indivíduos nessa sociedade” (JANCZURA, 2012).

O trabalho baseou-se numa investigação-ação, através de oficinas voltadas para a educação para o desenvolvimento sustentável, com especial enfoque na gestão de resíduos urbanos e a sua respectiva avaliação. Trabalhando junto aos moradores da comunidade o desenvolvimento de novas competências voltadas para práticas mais sustentáveis e com baixo impacto ambiental, apresentando formas para reutilização e reciclagem do que seria descartado; desde a compostagem de resíduos orgânicos para utilização em hortas, aproveitamento de garrafas plásticas para confecção de utensílios ou artesanato, como também, a correta separação de materiais que deveriam ser direcionados para alguma usina de reciclagem. Todas as ações focando transformar um contexto insalubre e com periculosidade num voltado para o bem-estar da comunidade.

Metodologicamente se optou por uma pesquisa com perspectiva orientada

---

<sup>1</sup> Fonte: <https://noticias.r7.com/minas-gerais/ocupacao-izidora-completa-5-anos-sem-estrutura-e-combriga-na-justica-03072018> <acesso em 03.07.2018>

para a prática, com o fim de otimizar as ações sociais através da identificação de necessidades para mudanças, associando à abordagem de cunho predominantemente qualitativo. Porém, utilizando instrumentos que pudessem mensurar de forma quantitativa a realidade encontrada, sempre que houvesse a necessidade de se proceder com uma integração metodológica. Uma vez que os métodos quantitativos e qualitativos podem ser aplicados conjuntamente caso exija a investigação, dependendo de cada situação que se apresente (COUTINHO, 2011).

O viés ora qualitativo em determinados momentos, deveu-se ao fato da possibilidade de um melhor entendimento da realidade em virtude das leituras e interpretações advindas das estratégias de recolha de dados dessa metodologia. Uma vez que a forma de entrevistar, observar e analisar as informações obtidas, representa uma etapa complexa ao longo de uma investigação (LALANDA, 1998).

Trabalhou-se com entrevistas, observação direta, observação participante e, dependendo do caso no qual o acesso não fosse irrestrito, procedeu-se com a aplicação de questionários. Lembrando que, segundo Yin (2001), “nenhuma das fontes possui uma vantagem indiscutível sobre as outras. Na verdade, as várias fontes são altamente complementares” (YIN, 2001).

Uma vez que as técnicas de coleta de dados são representadas pelos vários instrumentos e estratégias que os investigadores se utilizam para reunir informações (LATORRE, 2003), nesta investigação, pretendeu-se utilizar desde os meios mais simples – como as anotações em diário –, da mesma forma, gravações de áudio e vídeo que foram armazenados em um banco de dados no computador para posterior análise do conteúdo. Este conteúdo, obtido junto aos moradores do aglomerado desde o ano de 2018, que representa depoimentos e informações colhidas ao longo de dois anos de um número de participantes que não teve como objetivo caracterizar a população; mas sim, chegar o mais próximo possível de um entendimento acerca de como os moradores da ocupação procediam quanto à gestão dos resíduos urbanos.

Em nota, torna-se importante destacar que se procurou trabalhar desde o início das investigações e de forma contínua com 10 (dez) famílias. No entanto, o número total de pessoas que chegaram a participar em algum momento das etapas da investigação acabou sendo maior. Os primeiros questionários aplicados aos moradores

da ocupação Rosa Leão foram realizados ao final do primeiro semestre de 2018 com o intuito de guiar o investigador sobre as práticas de gestão de resíduos por parte das famílias no início do estudo e na elaboração de inquéritos futuros. Dessa forma, as oficinas programadas ocorreram no início do segundo semestre de 2019.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados preliminares a respeito desse levantamento, já nas oficinas, mas no início das ações, referem que:

- A maioria (76,2%) não havia participado de nenhum curso a respeito do tema ligado à reciclagem, reutilização, compostagem e hortas domésticas.
- A maioria (61,9%) já separava ou descartava corretamente os seus resíduos domésticos.
- Todos responderam que gostariam de participar de outros cursos sobre o assunto.
- A maior parte deles (42,85%) assumiu ter pouco conhecimento sobre gestão de resíduos sólidos.
- Todos concordaram que saber lidar com os resíduos produzidos em casa pode melhorar a qualidade de vida da comunidade.
- Todos demonstraram acreditar que os resíduos sólidos podem se transformar em uma fonte de renda.

Ao final do segundo semestre de 2019, foram realizadas as primeiras mensurações – através de dinâmicas de grupo realizadas nas dependências do CRAS – , a respeito do quanto os conteúdos propostos nas oficinas foram absorvidos pelos participantes e, como eles perceberam que a educação para o desenvolvimento sustentável poderia trazer benefícios tanto para suas vidas, como também, para toda a comunidade.

Da análise desse segundo momento, foram obtidas as seguintes impressões:

- Todas as pessoas que participaram da oficina demonstraram satisfação e vontade de participar de novas que forem ofertadas.

- Apesar das dificuldades de aprendizado percebidas em algumas, em função da baixa escolaridade e de problemas cognitivos de diversas origens, todas tiveram a oportunidade de demonstrar que um pouco foi absorvido (trabalho com compostagem, hortas doméstica, artesanato e respectiva venda do que foi produzido); o que foi arquivado num vídeo no qual algumas pessoas consentiram em fazer o registro.
- Algumas sugestões apareceram ao longo do curso, demonstrando que há o interesse em manter o vínculo com as oficinas.

O trabalho de levantamento das informações finais ficou condicionado ao recuo das determinações governamentais concernentes ao isolamento social proposto em decorrência da pandemia COVID19 de 2020. Com isso, a mensuração, do quanto o conteúdo transmitido através das oficinas foi impactante na qualidade de vida dos moradores da ocupação Rosa Leão – através de uma entrevista detalhada durante observação das casas das famílias – ficou para um terceiro momento; provavelmente, ainda neste final de 2020.

#### 4 CONCLUSÕES

Para que haja uma transformação significativa em uma dada comunidade, necessário se faz que haja tanto o comprometimento dos agentes intervenientes – ao se responsabilizarem em apresentar soluções factíveis e de fácil entendimento –, como também, em todos os indivíduos que fazem parte dessa coletividade.

Dessa forma, este trabalho procurou desde o início conscientizar uma pequena parcela da ocupação Rosa Leão da importância de serem adotadas práticas sustentáveis e com baixo impacto ambiental. O que resultou em um retorno positivo por parte dos participantes das oficinas, que aplicaram boa parte dos ensinamentos em seu cotidiano, resultando em mudanças de hábitos e em uma maior conscientização a respeito do consumo, reutilização dos materiais e descarte adequado dos resíduos urbanos.

## 5 REFERÊNCIAS

CALDAS, M. F. Instrumentos Urbanísticos para Sustentabilidade de Áreas de Preservação Ambiental: o caso de Belo Horizonte/MG. *In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE O TRATAMENTO DE ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE EM MEIO URBANO E RESTRIÇÕES AMBIENTAIS AO PARCELAMENTO DO SOLO*, 3., 2014, Belém. **Anais** [...] Belém: UFPA, 2014. 11 p.

COUTINHO, C. P. **Metodologia de investigação em ciências sociais e humanas**. Coimbra: Almedina, 2011. 343 p.

JANCZURA, R. Risco ou vulnerabilidade social?. **Textos & Contextos**, v. 11, n. 2, p. 301-308, 2012.

LALANDA, P. Sobre a metodologia qualitativa na pesquisa sociológica. **Análise social**, v. 33, n. 148, p. 871-883, 1998.

LATORRE, A. **La investigación-acción: conocer y cambiar la práctica educativa**. Barcelona: Grau, 2003. 138 p.

VYGOTSKY, L. S. **Mind in society: The development of higher psychological processes**. Harvard university press, 1978. 159 p.

## ANÁLISE DE VARIÁVEIS DA GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM ESCALA GLOBAL

**Matheus D. de S. Vasconcelos<sup>\*1</sup>, Ana R. L. Lima<sup>1</sup>, Mariana de O. Araújo<sup>1</sup>, José de S. O. Filho<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia/Geografia, \*e-mail: matheusdayson@hotmail.com.



<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia/Geografia.

**RESUMO:** O acúmulo de resíduos sólidos vem se tornando uma problemática de caráter mundial. O seu descarte de forma mais intensa e desenfreada ocasiona crises socioambientais. A estimativa da distribuição, composição e geração de resíduos sólidos é importante para o planejamento de sua gestão, principalmente considerando a tendência de alteração das características dos resíduos sólidos com o desenvolvimento econômico, social e cultural das populações. A partir de análises, torna-se possível criar parâmetros em função dos níveis sociais e econômicos em que se encontram as diferentes sociedades mundiais. O objetivo do presente trabalho consiste em analisar as principais variáveis dos países listados no relatório de desenvolvimento humano e relacionar com o percentual de gestão de resíduos sólidos no mundo. Diversos fatores podem ser citados como influentes nas taxas de distribuição, composição e geração de resíduos sólidos, tais como aspectos econômicos, sociais, culturais e até mesmo geoGráficos. Sua produção, caracterização e distribuição possui disparidades se comparada entre países.

**Palavras-chave:** IDH. Gestão de Resíduos Sólidos. Cenário Mundial.

**ABSTRACT:** Solid waste accumulation has become a worldwide problem. His biggest intensive and unbridled discarding, it caused many environmental problems. The estimate of distribution, composition and solid waste generation is important for planning their management, mostly, considering the tendency to change the characteristics of solid waste from the growth of the economic, social and cultural of the populations. From analysis, it's possible to create parameters based on social and economic levels, in which the different world societies are found. The objective of this study is to analyze the main variables of the countries listed in the Human Development Report and relate to the percentage of solid waste management in the world. Several factors can affect the composition rates and generation of solid waste, such as economic, social, cultural and even geographical. Their production, characterization and distribution have differences

compared between countries.

**Keywords:** HDI. Solid Waste Management. World Scenario.

## 1 INTRODUÇÃO

O acúmulo de resíduos sólidos (RS) vem se tornando uma problemática de caráter mundial. Desde a Revolução Industrial, a quantidade de RS se intensificou devido a crescente urbanização em todo o globo. Deste modo, o consumo passou a acontecer em larga escala, com a utilização dos recursos naturais e sua industrialização para obter o conforto e o lazer social. Conseqüentemente, o descarte dos resíduos passou a acontecer de forma mais intensa e desenfreada. A quantidade estimada de resíduos sólidos municipais gerados em todo o mundo são de aproximadamente 1,9 bilhão de toneladas métricas (AMANCIO, 2017). A maior parte dos RSU produzidos no mundo, quando não passam pelo processo de reciclagem, são descartados em aterros e/ou lixões.

Segundo Hoornweg e Bhada-Tata (2012), no relatório *What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management* do Banco Mundial, a taxa de resíduos nos países mais desenvolvidos aumentou 14% desde 1990 e 35% desde 1980. As nações desenvolvidas, reunidas na Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), consomem mais de 60% de todas as matérias-primas industriais, mas respondem por apenas 22% da população mundial. De acordo com o mesmo relatório de 2012, Os Estados Unidos (EUA) lideram o ranking de produção de resíduos, com aproximadamente 624 mil toneladas por dia. Além disso, outras quatro nações em desenvolvimento (China, Brasil, Índia e México) aparecem como uma das maiores produtoras de lixo.

Diante do exposto, o objetivo do presente resumo consiste em analisar as principais variáveis, como escolaridade, rendimento nacional bruto (RNB), renda per capita, investimento em pesquisa, população total, densidade demográfica, dos países listados no Relatório do Desenvolvimento Humano de 2019, publicado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), e relacionar com a quantidade e

tipos de resíduos sólidos produzidos por cada país.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração do referido trabalho, optou-se pela divisão em três etapas. Essas correspondem ao levantamento bibliográfico acerca de informações socioambientais, o estudo de casos e por último a integralização dos dados obtidos. Foram selecionados 187 países citados no Relatório do Desenvolvimento Humano de 2019 publicado pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), abrangendo todos os continentes. Utilizou-se de uma busca de dados mais recentes sobre a gestão RS em sites oficiais dos governos, artigos científicos, pesquisas e relatórios publicados relacionados a esses países.

Como ferramenta para compilar os dados optou-se pelo uso do excel, nele fora elaborado as tabelas e gráficos presentes neste resumo. Por fim, foi efetuada uma análise quantitativa dos dados recolhidos, analisando perfis econômicos e socioambiental dos países analisados.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A gestão de resíduos sólidos é um problema global, relevante para todos os habitantes do planeta Terra. Indivíduos, líderes e governos tomam decisões sobre consumo e gestão de resíduos que afetam a saúde diária, a produtividade e a limpeza das comunidades. Resíduos mal gerenciados estão contaminando os oceanos, obstruindo drenos e causando inundações, transmitindo doenças por meio da criação de vetores, aumentando os problemas respiratórios por meio de partículas transportadas pelo ar da queima de resíduos, prejudicando animais que consomem resíduos sem saber e afetando o desenvolvimento econômico, como a redução do turismo. Resíduos não gerenciados e gerenciados incorretamente de décadas de crescimento econômico requerem ações urgentes em todos os níveis da sociedade.

Os dados apresentados no relatório produzido por Kaza *et al.* (2018), e analisado pelos construtores do presente trabalho, demonstra que à medida que os

países passam dos níveis de renda baixa para os de renda média e alta, suas situações de quantidade e gestão de resíduos também evoluem. O crescimento da prosperidade e o movimento para áreas urbanas estão ligados a aumentos na geração per capita de resíduos e sua diferenciação. Além disso, a rápida urbanização e o crescimento populacional criam centros populacionais maiores, tornando cada vez mais difícil a coleta de todos os resíduos e a obtenção de terras para tratamento e disposição.

Sobre a gestão de RSU os autores do “What a Waste 2.0 A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050”, no primeiro capítulo relatam:

“Urban waste management is expensive. Waste management can be the single highest budget item for many local administrations in low-income countries, where it comprises nearly 20 percent of municipal budgets, on average. In middle-income countries, solid waste management typically accounts for more than 10 percent of municipal budgets, and it accounts for about 4 percent in high-income countries. Budget resources devoted to waste management can be much higher in certain cases” (KAZA et.al., 2018, p.1)

Gerir todo o processo dos RSU é caro e complexo. Países que possuem um poder econômico maior, investimento em ciência e educação tendem a gerir com mais eficiência seus resíduos. Os três países que mais produzem RSU por pessoa diariamente, EUA, Noruega e Itália, detêm alto IDH, população alfabetizada acima dos 99%, renda per capita acima de 38.000 dólares e são considerados países desenvolvidos. No que se concerne a gerência dos RSU, não obtêm em seus territórios nenhum lixão, possuem para áreas de descartes aterros sanitários com alta tecnologia, sistemas eficientes de compostagens, como também competentes sistemas de reciclagem e uma coleta seletiva em todo o território (HOORNWEG; BHADA-TATA; 2012). O investimento em educação e em gestão de RSU desses respectivos países, demonstram a capacidade da sociedade de gerir com eficiência os seus RS. Esses compreendem bem a necessidade da análise científica holística e interdisciplinar, os tipos de materiais produzidos por seus cidadãos e suas necessidades de descartes. Ter e analisar os dados de gerenciamento de resíduos são essenciais para a criação de políticas e planejamento para o contexto global e local.

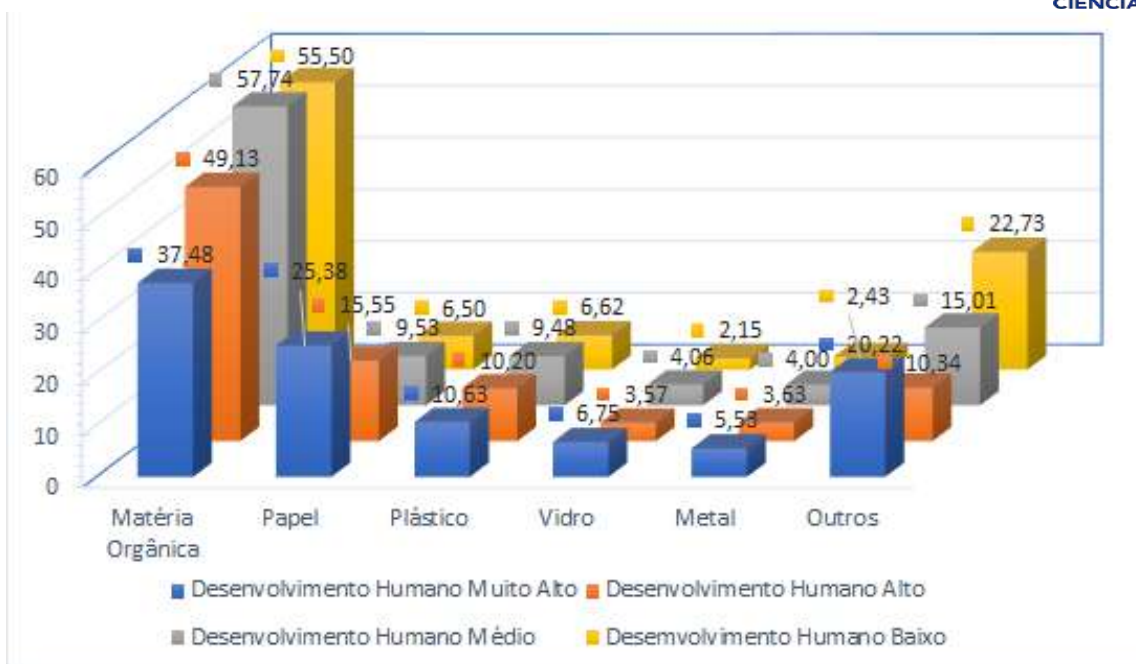
Entender quanto de lixo é gerado, especialmente com a rápida urbanização e crescimento populacional, bem como os tipos de lixo que estão sendo gerados, permite que os governos locais selecionem métodos de gestão adequados e planejem a demanda futura. Esse conhecimento permite que os líderes projetem sistemas com um número adequado de veículos, estabeleçam rotas eficientes, e metas para o desvio de resíduos, rastreiem o progresso e se adaptem conforme os padrões de geração de resíduos são alterados.

Com dados precisos, os governos podem alocar de forma realista o orçamento e a terra, avaliar tecnologias relevantes e considerar parceiros estratégicos, como o setor privado ou organizações não governamentais, para a prestação de serviços. No que se concerne a composição dos RS Mundial, categorizados pelos tipos de materiais, possuem a maior porcentagem em resíduos alimentícios, representando 44% do lixo global. Os demais 56% são distribuídos em vidros (5%), metal (4%), papel e papelão (17%), plástico (12%), borracha e couro (2%), madeira (2%) e outros (14%) (KAZA *et al.*, 2018).

A porcentagem dos tipos de RS produzidos pelos países, atrelada ao IDH, está representada no Quadro 1. A divisão dos países em quatro grandes grupos, teve como base seu nível de desenvolvimento, retirado do PNUD, são eles: desenvolvimento humano (DH) muito alto, DH alto, DH médio e DH baixo. A análise representada no Quadro 1, permite afirmar que países com menor desenvolvimento humano possuem, no geral, uma maior geração de Resíduos Orgânicos em contramão de países com maior IDH, que contêm uma maior geração de resíduos inorgânicos.

Esta condição está diretamente ligada a relação de consumo e riqueza dos países, Barros (*apud* CAMPOS, 2012) afirma que um aumento na faixa de renda da população resulta em um maior nível de consumo, aumentando, portanto, a geração de resíduos.

#### **Quadro 1 – Porcentagem dos tipos de resíduos sólidos produzidos pelos países seguindo o IDH**



Fonte: Adaptado de Hoornweg e Bhada-Tata (2012); Conceição *et al.* (2019).

#### 4 CONCLUSÕES

Conclui-se que há disparidade entre os países, principalmente no que se concerne ao gerenciamento, quantidade e tipo dos RS. Existe a necessidade de cidades e países possuírem planejamentos holístico e interdisciplinar para a gerência de seus RS, como também uma eficiente gerência dos preciosos recursos existentes em seu território e educação ambiental ampliada. São necessários projetos com focos na cultura dos 4 R's, esses precisam ser patrocinados e difundidos com maior veemência, pois é responsabilidade de cada cidadão, governo, empresa, cidade e país criar o mundo compartilhado, saudável, inclusivo e habitável, para que as próximas gerações não sejam prejudicadas pela incapacidade dos atuais e constantes erros humanos.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Universidade Estadual do Ceará (UECE), o Laboratório de Estudos Morfoestrutural e Pedológico (LEMEP) e a Pró-reitora de Extensão (PROEX) pelos seus

suportes financeiros, logístico e educacional. Agradecemos ao Prof. José Filho pelos seus esclarecimentos e auxílios na elaboração deste trabalho e liderança com a equipe.

## 6 REFERÊNCIAS

AMANCIO, Roberta Christina. **Análise do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no município de Canápolis-MG**. 2017. 67 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

CAMPOS, H. K. T. Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 171-180, 2012.

CONCEIÇÃO, P.; *et al.* **Relatório do desenvolvimento humano 2019.: Além do rendimento, além das médias, além do presente: Desigualdades no desenvolvimento humano no século XXI**. New York: PNUD, 2019. 40 p. Disponível em: <https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/library/relatorio-do-desenvolvimento-humano-2019.html>.

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. **What a waste: a global review of solid waste management**. n. 15. Washington: Banco Mundial, 2012. 116 p.

KAZA, S.; YAO, L. C.; BHADA-TATA, P.; VAN WOERDEN, F. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. Washington: World Bank Group, 2018. 38 p.

SOUZA, R. C. C.; BAETTKER, E. C.; NAGALLI, A.; IZZO, R. L. S. Métodos estimativos da geração e composição de resíduos sólidos urbanos: uma revisão. **Revista Engenharia e Construção Civil**, v. 1, n. 2, p. 24-39, 2014.

## ANÁLISE DO POTENCIAL DE APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS: UM ESTUDO DE CASO EM FORTALEZA/CE

Ênio G. Girão<sup>\*1</sup>, Francisca D. M. Vasconcelos<sup>2</sup>, Rui P. C. A. de Oliveira<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará, \*e-mail: eniogirao@yahoo.com.br.

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Ambiental/Saneamento,

Universidade Federal do Ceará.

<sup>3</sup>Programa de Pós-Graduação em Projeto e Gestão de Resíduos Sólidos, Universidade de Fortaleza.

**RESUMO:** O presente trabalho apresenta o estudo do potencial da geração de biogás a partir dos Resíduos Sólidos Orgânicos (RSO). O objetivo central da pesquisa é analisar a viabilidade financeira e técnica do aproveitamento dos RSO, além de identificar benefícios ambientais, sociais e de saúde pública. Para tanto foram levantados os dados de geração de RSO proveniente de restaurantes e similares da cidade de Fortaleza/Ceará, os dados foram adquiridos para os anos de 2019 e 2020 por meio da Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente (SEUMA). Também foi analisado o custo-benefício da implantação dos projetos de aproveitamento dos RSO usando valores de referências, no período de 2017 a 2040, para avaliar o valor de retorno do investimento. Os resultados demonstram que a cidade de Fortaleza possui um alto potencial de aproveitamento dos RSO e um valor final de custo-benefício de R\$ 5,69 no período de 20 anos.

**Palavras-chave:** Análise custo-benefício. Gestão de resíduos orgânicos. Biogás.

**ABSTRACT:** This work presents the study of the potential of biogas generation from Organic Solid Waste (OSW). The main objective of the research is to analyze the financial and technical feasibility of using OSW, in addition to identifying environmental, social and public health benefits. For that purpose, the data on the generation of OSW from restaurants and the like in the city of Fortaleza / Ceará were collected, the data were acquired for the years 2019 and 2020 through the Municipal Secretariat of Urbanism and Environment. The cost-benefit analysis of the implementation of OSW projects was also analyzed using reference values, in the period from 2017 to 2040, to evaluate the return on investment. The results show that the city of Fortaleza has a high potential for using RSO and a final cost-benefit value of R \$ 5.69 over the 20-year period.

**Keywords:** Cost-benefit analysis. Organic waste management. Biogas.



## 1 INTRODUÇÃO

No âmbito mundial, entre 25% e 33% dos alimentos produzidos anualmente para o consumo humano são desperdiçados. Isso equivale a 1,3 bilhão de toneladas de alimentos. A FAO calcula que esses alimentos seriam suficientes para alimentar dois bilhões de pessoas (BENÍTEZ, 2020). O País desperdiça 41 mil toneladas de alimentos por ano, sendo 15% em restaurantes, ou algo em torno de 6 mil toneladas. O volume diário de resíduos orgânicos coletados nas residências de Fortaleza é de 0,86 kg/hab.; 730 mil toneladas, em 2017 (SNIS, 2017).

Conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos, no que tange aos resíduos orgânicos, cabe aos gestores públicos implantar sistemas de compostagem e articular com os agentes econômicos e sociais suas formas de utilização (BRASIL, 2010). Essa disposição também foi trazida pela Política de Resíduos Sólidos do Estado do Ceará e Plano Estadual de Resíduos Sólidos (CEARÁ, 2015).

O Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Fortaleza informa que 42,7% é o percentual de resíduos orgânicos nos resíduos sólidos. Mesmo assim, há carência de projetos de compostagem (FORTALEZA, 2012). Fortaleza gasta R\$ 250 milhões/ano na coleta de 1,8 milhão de toneladas de lixo domiciliar (DIÁRIO DO NORDESTE, 2019). Em Fortaleza, restaurantes e similares que produzem mais de 100 L/dia de resíduos sólidos estão obrigados a efetuar o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (FORTALEZA, 2007). Em restaurantes, o desperdício de alimentos chega a 20% (VENZKE, 2001), já em restaurantes de escolas públicas e universidades, o desperdício varia de 6% a 10%, sendo que em supermercados as perdas representam 5,97% sobre o faturamento bruto (RAMA, 2019).

A reciclagem de resíduos orgânicos não necessita de grandes exigências tecnológicas ou de equipamentos para que o processo possa ser realizado com segurança, de forma que se tem obtido grande êxito em ações de educação ambiental associadas com jardinagem e agricultura urbana (ABREU, 2013). Diante do contexto, o objetivo central da pesquisa é analisar o potencial e a viabilidade financeira de aproveitamento dos resíduos sólidos orgânicos em Fortaleza-Ceará.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Adotou-se a natureza quali-quantitativa e metodologicamente foram realizadas revisões bibliográficas em bibliotecas virtuais, a partir de 4 (quatro) palavras-chave: resíduos orgânicos, compostagem convencional, biogás, gerenciamentos de resíduos. Buscou-se livros, artigos científicos, dissertações e teses em plataformas como *Scielo* e Periódico Capes.

A cidade de Fortaleza/CE, foi selecionada para o Estudo do potencial de aproveitamento dos resíduos sólidos orgânicos adotou-se o período de 2019 e 2020. A análise de Custo-Benefício foi realizada com dados do período de 2015 a 2018, trabalhados em tendência até o ano de 2040, para estimar o retorno dos investimentos. Os dados foram fornecidos por órgãos públicos, como a Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanização (SEUMA), Autarquia de Urbanismo e Paisagismo de Fortaleza (UrbFor) e o Instituto de Planejamento de Fortaleza (IPLANFOR).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evolução da geração dos Resíduos Sólidos Orgânicos da cidade apresenta números expressivos que merecem análise detalhada. No ano de 2019, a média mensal foi de 65.018,78 litros/dia de RSO, o volume chegou a aumentar sete vezes de janeiro até dezembro. O ano de 2020, como média mensal de 56.721,34 litros/dia, o volume de junho aumentou cinco vezes em relação a janeiro do mesmo ano, a partir do mês de julho de 2020 os dados adquiridos foram afetados pela pandemia.

Os Resíduos Sólidos Orgânicos de Fortaleza são desperdiçados e dispostos em aterro sanitário, a viabilidade de aproveitamento desses resíduos gera receita, evita custos com passivos ambientais e saúde pública. Na análise de viabilidade financeira foram adotados alguns custos e benefícios do aproveitamento desses resíduos, os valores estimados foram baseados em referências publicadas. O ganho anual com a geração e comercialização dos compostos orgânicos e o biogás foi gerado usando o volume de material reaproveitado (ton/ano) multiplicado pelo peso líquido do RSO

(R\$/ano). O ganho anual com a geração do biogás foi estimado pela geração de energia (kWh/ano), a usina de biogás de Fortaleza gera uma produção equivalente de energia elétrica a 75.6000Mwh/ano, a partir dos resíduos domiciliares da cidade (SEBIGAS, 2014).

Lucena (2004) foi a referência adotada para estimar a Redução de Morbidade e Mortalidade, afirmando que quanto menor a exposição dos indivíduos ao lixo em aterros menor as incidências de doenças relacionadas à exposição de vetores, o que resulta em benefício direto à saúde pública. Para resíduos sólidos urbanos estimou-se R\$ 6,90 ton/ano de resíduos reciclados, para cidade de Recife. O valor foi multiplicado pela quantidade de resíduos para cada ano.

A média do custo unitário da coleta de resíduos domiciliar e público de Fortaleza, em 2013, foi de R\$111.17 ton/ano (SNIS, 2013). O custo unitário do manejo do Aterro Sanitário de Fortaleza, conforme Kroetz (2003), é de R\$ 5,80 por tonelada de resíduo, esse valor é utilizado para estimar os custos evitados com manejo de aterro sanitário. Os ganhos com a qualidade ambiental podem ser abrangentes e de impactos duradouros, como: i) mananciais urbanos livres de poluição advinda da disposição inadequada de resíduos sólidos nas suas margens; ii) preservação da mata ciliar dos recursos hídricos urbanos; iii) diminuição da proliferação de vetores; iv) poluição visual causada pelos pontos de lixo; v) diminuição da emissão dos gases de efeito estufa. Para estimar os ganhos com a qualidade ambiental adotou-se a metodologia de Disposição à Pagar (DAP). Segundo Rodrigues e Santana (2012), os indivíduos estão dispostos a pagar cerca de R\$ 819.110.640 ao ano para serviços de coleta seletiva na cidade e seus benefícios ambientais e sociais.

Considerando que a cidade não dispõe da cultura de aproveitamento dos resíduos orgânicos, foram incluídos na análise o custo de investimentos na implementação do programa de aproveitamento dos RSO, segundo Pires (2011) o valor anual de investimentos em empreendimentos de compostagem custa cerca de R\$ 165.264,00 anual. Conforme as referências adotadas para análise do custo-benefício de aproveitamento dos resíduos sólidos orgânicos no período de 2017 a 2040, para cidade de Fortaleza/Ceará a relação final de custo-benefício é de R\$ 5,69 (Tabela 1).

**Tabela 1 – Análise de custo-benefício do aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos**

<b>Benefícios considerados</b>	
<i>Uso evitado de recursos hídrico</i>	-
<i>Uso evitado de energia elétrica</i>	-
<i>Custo evitado com desperdício de alimento</i>	-
<i>Redução de óbitos e doenças vinculadas a indisposição inadequada de RSO</i>	16.762.853
<i>Ganho Anual de Composto Orgânico</i>	120.294.662
<i>Ganho Anual com a geração de Biogás</i>	540.836.818
<i>Custo evitado com manejo do aterro</i>	24.929.371
<i>Ganhos com a qualidade Ambiental e redução dos GEE</i>	819.110.640
<b>Total dos benefícios (R\$/ano)</b>	<b>1.521.934.344</b>
<b>Custos considerados</b>	
<i>Investimentos de Implementação do programa de aproveitamento dos RSO</i>	1.440.843
<i>Investimento e Custeio para execução, controle, difusão do Plano de Resíduos orgânicos de Fortaleza</i>	4.378.397
<i>Incremento de Transporte e Disposição dos resíduos orgânicos</i>	51.653.724
<i>Consumo de água na geração de energia a partir de resíduos sólidos orgânicos</i>	108.345.840
<i>Custos operacionais da compostagem</i>	101.223.152
<b>Total dos custos (R\$/ano)</b>	<b>267.041.956</b>
<b>Relação custo-benefício</b>	

#### 4 CONCLUSÕES

Acredita-se pelo expressivo volume de RSO gerados por estabelecimentos gastronômicos pode ser aproveitado para a geração de biogás e composto orgânico. Os RSO de Fortaleza podem deixar de ser passivos ambientais e se tornarem ativos econômicos agregando benefícios ambientais, sociais e de saúde pública.

O caminho eficiente é um estudo de viabilidade da implantação de miniusinas

de compostagem dos RSO, podendo ser adaptadas ao Ecopontos (equipamentos existentes, presente em todo território da cidade), utilizando composteiras modernas disponíveis no mercado que demandam espaço reduzido possuem eficiência na produção dos compostos orgânicos. Assim os estabelecimentos que geram grande volume de alimentos teriam uma opção mais acessível de destinação correta desses resíduos, gerando receita e minimizando impactos ambientais.

## 5 REFERÊNCIAS

ABREU, Marcos José de. **Gestão comunitária de resíduos orgânicos: o caso do projeto revolução dos baldinhos (PRB), capital social e agricultura urbana**. 2013. 184 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Agrossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Florianópolis, 2013.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 147, 3 ago. 2020. Seção 1, p. 3. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm). Acesso em: 29 jul. 2020.

CEARÁ. Secretaria Estadual do Meio Ambiente. **Plano Estadual de Resíduos Sólidos**. Fortaleza: SEMA, 2015. 134 p. Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br/plano-estadual-de-residuos-solidos-2/>. Acesso em: 30 jul. 2020.

DIÁRIO DO NORDESTE. **Coleta especial de lixo ultrapassa limites e vira rotina em Fortaleza**. Diário do Nordeste (Redação). Página modificada em 19 mar. 2019. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/editorias/metro/coleta-especial-de-lixo-ultrapassa-limites-e-vira-rotina-em-fortaleza-1.2076747>. Acesso em: 8 out. 2020.

FORTALEZA. ACFOR. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Fortaleza, Estado do Ceará**. Fortaleza: Sanetal, 2012. 411 p. Disponível em: <https://urbanismoemeioambiente.fortaleza.ce.gov.br/infocidade>. Acesso em: 31 jul. 2020.

FORTALEZA. **Manual para Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. Fortaleza: Prefeitura Municipal de Fortaleza, Secretaria Municipal de Urbanismo e Meio Ambiente – SEUMA, Coordenadoria de Fiscalização Integrada – COFIS, Célula de Controle de Resíduos – CECR, 2015. 18 p.

KROETZ, Carlos Eduardo. **Desenvolvimento de um Sistema de apoio ao dimensionamento e estimativa de custos de aterros sanitários em trincheiras para municípios de pequeno porte**. 2003. 174 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

LUCENA, Luciana de Figueirêdo Lopes. **Análise do custo-benefício da reciclagem dos resíduos sólidos urbanos no Recife e Jaboatão dos Guararapes**. 2004. 307 f. Dissertação (Pós-graduação em Economia) - Centro de Ciências Sociais Aplicada, Departamento de Economia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2004.

PIRES, Adriano Borges. **Análise da Viabilidade Econômica de um Sistema de Compostagem Acelerada para Resíduos Sólidos Urbanos**. 2011. 65 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2011.

RAMA. **Balço semestral RAMA 2019**. Rama, 2019. Disponível em: <https://www.abras.com.br/rama/indicadores/>. Acesso em: 1º ago. 2020.

RODRIGUES, W.; SANTANA, W. C. Análise econômica de sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos: o caso da coleta de lixo seletiva em Palmas, TO. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 4, n. 2, p. 299-312, 2012.

SEBIGAS. 2014. **Usina de biogás: nova fonte de energia a partir do lixo orgânico**. Disponível em: [http://www.sfiec.org.br/portaltv2/sites/conselhos/files/files/Sebigas%20-%20Fortaleza\\_2014.pdf](http://www.sfiec.org.br/portaltv2/sites/conselhos/files/files/Sebigas%20-%20Fortaleza_2014.pdf). Acesso em: 12 out. 2020

SNIS. Ministério do Meio Ambiente. **Painel Resíduos Sólidos Urbanos**. Indicadores Municipais. 2017. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/agenda-ambiental-urbana/res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos.html>. Acesso em: 29 jul. 2020.

VENZKE, C. S. A geração de resíduos em restaurantes, analisada sob a ótica da produção mais limpa. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 21. 2001, Salvador. **Anais** [...] Salvador, 2001, 7p. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/publicacoes/index.asp?ano=2001>. Acesso em: 2 ago. 2020.

## ANÁLISE PATENTOMÉTRICA DE TECNOLOGIAS DE REATORES UASB PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES

Gabriel V. Gaspar<sup>\*1</sup>, Laís M. Moreira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, \*e-mail: gabrielgaspar\_@hotmail.com.

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Agrícola.

**RESUMO:** As tecnologias vinculadas aos reatores UASB para tratamento de efluentes já

são bastante difundidas pelo mundo. Para que se conheça o cenário de proteção tecnológica nos diferentes países, as análises patentométricas podem ser utilizadas como instrumento de levantamento de dados estratégicos. Utilizou-se o banco de dados da plataforma Derwent Innovation para a verificação do cenário patentométrico de tecnologias relacionadas a reatores UASB. Após a análise dos documentos de patentes depositados nos anos de 2009 a 2019, de acordo com uma metodologia de busca, percebeu-se que a principal categoria tecnológica vinculada a esta vertente de tratamento foi a C02F (*Wastewater, Water, Sludge, Desalination, Reverse Osmosis, Purification, Filtration*) na maior instituição detentora de patentes na área. No determinado período, o cenário patentométrico de tecnologias de reatores UASB foi dominado, em número de patentes, por China (36.889), Japão (2.805) e República da Coreia (1.869). O Brasil (104) não apresentou números significativos de patentes na área de acordo com a busca.

**Palavras-chave:** Análise Patentométrica. Patentes. Reator UASB.

**ABSTRACT:** Technologies linked to UASB reactors for wastewater treatment are already widespread throughout the world. In order to understand the technological protection scenario in different countries, patentometric analyzes can be used as an instrument for collecting strategic data. The Derwent Innovation platform database was used to verify the patentometric scenario of technologies related to UASB reactors. After analyzing the patent documents filed in the years 2009 to 2019, according to a search methodology, it was noticed that the main technological category linked to this treatment aspect was C02F (*Wastewater, Water, Sludge, Desalination, Reverse Osmosis, Purification, Filtration*) at the largest patent holder in the area. In the given period, the patentometric scenario was dominated, in number of patents, by China (36.889), Japan (2.805) and the Republic of Korea (1.869). Brazil (104) did not present significant numbers of patents in the area according to the search.

**Keywords:** Patentometric Analysis. Patents. UASB Reactor.

## 1 INTRODUÇÃO

O despejo inadequado de efluentes em ecossistemas aquáticos, lênticos ou lóticos, é uma das principais causas de desequilíbrios ambientais. Para diminuir a contaminação dos recursos hídricos, Marques e Nunes (2018) afirmam que uma opção de tratamento para os efluentes é a tecnologia UASB (do inglês, *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), a qual emprega microrganismos anaeróbios que se encontram em suspensão formando flocos biológicos conhecidos como manta de lodo. A tecnologia anaeróbia para o tratamento de esgoto pode ser considerada consolidada na América Latina, especialmente no Brasil, com destaque para a utilização de reatores anaeróbios de manta de lodo e fluxo ascendente (CHERNICHARO *et al.*, 2015). Entretanto, a consolidação de uma tecnologia não significa que os países que a utilizam sejam os proprietários dos direitos de sua exploração.

Para que se conheça o cenário patentométrico de tecnologias, alguns estudos, como análises patentométricas são necessários. Gerken, Moehrle e Walter (2015), enxergam a análise de patentes como uma ferramenta fundamental para o monitoramento do ambiente tecnológico de diversas áreas de conhecimento. Os autores ressaltam que os estudos envolvendo o impacto das patentes geradas ainda são escassos, contudo, necessários para a compreensão do cenário de inovação tecnológica. Nesse contexto, este trabalho buscou analisar o cenário dos depósitos de patentes das tecnologias relacionadas a reatores UASB para tratamento de efluentes, realizou-se uma análise patentométrica da tecnologia.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a análise patentométrica, foi utilizado o software *Derwent Innovation* da empresa Clarivate, o qual é uma plataforma de pesquisa de patentes e de análises, permitindo acesso a patentes e à literatura científica (CLARIVATE, 2020). O *Software* foi disponibilizado pelo Observatório da Indústria do Sistema FIEC tendo em vista a pertinência das análises com as temáticas levantadas na Rota Estratégica Setorial de Meio Ambiente (FIEC, 2017).

Os dados de entrada da busca foram definidos de acordo com os itens



selecionados da própria plataforma. O campo “*Smart Search-Topic*” define a temática principal da busca, sendo definido por “*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*”, remetendo à tecnologia de reatores UASB. O campo “*Title-DWPI*” vincula às buscas nos títulos das patentes que contenham as palavras inseridas, correlacionando-as primariamente ao tópico principal e secundariamente entre si pelos operadores de correlação. Para completar este campo, buscou-se diversos artigos científicos referentes a reatores UASB, sendo escolhidas 15 palavras-chaves mais relevantes dos diversos resumos científicos, as quais podem ser observadas na Tabela 1. O terceiro campo de entrada da busca foi o “*Publication Date*”, o qual está relacionado ao período abrangido na busca, determinando os anos de 2009 a 2019 para a construção do cenário patentométrico da tecnologia.

**Tabela 1 - Formatação da busca de acordo com os campos da plataforma Derwent Innovation**

<b>Smart Search-Topic</b>	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>
<b>Title-DWPI</b>	<i>UASB reactor OR Anaerobic reactors OR Anaerobic sludge OR Effluent quality OR Anaerobic treatment OR Wastewater Treatment OR Sewage Treatment OR Treatment systems OR Effluent quality improvement OR Optimization of bioreactors OR Bioprocesses OR Domestic sewage OR Nitrification OR Denitrification OR Wastewater treatment plants performance</i>
<b>Publication Date</b>	01/01/2009 à 31/12/2019

Fonte: O Autor (2020), a partir do Observatório da Indústria e Derwent (2020).

Após a conclusão da busca, observou-se os “*insights*” de retorno da plataforma para a busca patentométrica. É importante salientar que os resultados sofrem influência direta da sequência e da quantidade de campos escolhidos. As nomenclaturas das categorias analisadas encontram-se em inglês para melhor associação a outras bases de dados, de acordo com a *International Patent Classification* da *World Intellectual Property Organization* (WIPO, 2020).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição geográfica do depósito inicial de patentes pode ser observada na Tabela 2. O depósito inicial é a garantia da empresa em proteger, em primeira mão, a tecnologia no território em que estrategicamente o mercado poderá ser bem explorado, ou em que se pretende desenvolver estudos mercadológicos.

**Tabela 2 – Distribuição geográfica dos depósitos iniciais de patentes pelo mundo**

País	Número de documentos	Patentes Concedidas	Porcentagem de Concessão
China	36.889	16.969	46%
Japão	2.805	1.206	43%
República da Coréia	1.869	860	46%
Estados Unidos	1.725	569	33%
Brasil	104	14	13%

Fonte: O Autor (2020), a partir do Observatório da Indústria e Derwent (2020).

No cenário patentométrico indicado pela busca, a instituição UNIV BEIJING TECHNOLOGY apresenta o primeiro lugar na quantidade de depósitos de patentes. Em segundo lugar, vem a empresa KURITA WATER IND LTD. A composição de cada documento cedido de patente pode variar bastante de acordo com as tecnologias que compõem seu conteúdo. A análise das categorias das patentes do player UNIV BEIJING TECHNOLOGY pode ser observada na Tabela 3.

**Tabela 3 – Principal\* composição patentométrica do player UNIV BEIJING TECHNOLOGY**

Categoria Principal	Definição	Subcategorias	Definição
C02F 88%	<i>Wastewater, Water, Sludge, Desalination, Reverse</i>	C02F0003 49%	<i>Wastewater, Wetland, Membrane Bioreactor, Anaerobic, Activated Sludge, Aerobic, Sewage</i>

	<i>Osmosis, Purification, Filtration</i>	C02F0101 16%	<i>Wastewater, Heavy Metal, Treating Water, Contaminant, Effluent, Pollutants, Arsenic</i>
		C02F0009 16%	<i>Wastewater, Ultrapure Water, Sewage, Reverse Osmosis, Potable, Sludge, Desalination</i>
		C02F0011 5%	<i>Sludge, Digestate, Anaerobic Digestion, Wastewater, Dewatering, Sewage, Organic Waste</i>
		C02F0103 1%	<i>Desalination, Seawater, Wastewater, Ballast Water, Reverse Osmosis, Effluent, Anaerobic</i>
		C02F0001 1%	<i>Water Purifier, Desalination, Wastewater, Reverse Osmosis, Contaminant, Sludge, Filtration</i>
G05B 3%	<i>Automation, Control, Machine Learning, Controlling, Management, Model, Monitoring</i>	G05B0019 2%	<i>Automation, Numerical, Collection, Monitoring, Controlling, Management, Model</i>
		G05B0013 1%	<i>Industrial Environment, Performance Value, Machine Learning, Neural Network, Intelligence, Predictive, Optimization</i>
G06N 2%	<i>Neural Network, Deep Learning, Artificial Intelligence, Knowledge, Computing</i>	G06N0003 2%	<i>Deep Learning, Neural Network, Artificial Intelligence, Trained, Classification, Feature</i>

Fonte: O Autor (2020), a partir do Observatório da Indústria e Derwent (2020).

\*Foram representadas apenas as categorias mais significativas.

#### 4 CONCLUSÕES

É importante salientar que o cenário patentométrico das tecnologias que envolvem o tratamento de efluentes por Reatores UASB é dominado por países orientais, principalmente pela China. De acordo com a busca, o Japão, segundo país que mais se envolveu com patentes dessa tecnologia, apresentou menos de 8% da quantidade de documentos chineses.

A maior detentora de patentes chinesa tem quase 88% de seus documentos vinculados com a categoria C02F (*Wastewater, Water, Sludge, Desalination, Reverse Osmosis, Purification, Filtration*), enquanto sua segunda categoria melhor representada é a G05B (*Automation, Control, Machine Learning, Controlling, Management, Model, Monitoring*). Além disso, o Brasil não apresenta quantidades significativas de patentes vinculadas à busca de tecnologias de Reatores UASB.

## 5 AGRADECIMENTOS

Ao Observatório da Indústria da Federação das Indústrias do Estado do Ceará - FIEC, pela permissão de utilização do software Derwent Innovation.

## 6 REFERÊNCIAS

CHERNICHARO, C. A. L.; VAN LIER, J. B.; NOYOLA, A. BRESSANI-RIBEIRO, T. Anaerobic sewage treatment: state of the art, constraints and challenges. **Reviews in Environmental Science and Bio/technology**, v. 14, n. 4, p. 649-679, 2015.

CLARIVATE. **The new Derwent Innovation is here**. Fev. 2020. Disponível em: <https://clarivate.com/derwent/solutions/derwent-innovation/>. Acesso em: 12 out. 2020.

FIEC - Federação das Indústrias do Estado do Ceará. **Rotas estratégicas setoriais: estudo socioeconômico – Economia do Mar**, Fortaleza: FIEC, 2017.

GERKEN, J. M.; MOEHRLE, M. G.; WALTER, L. Investigating the time lag between patent publication and market launch: insights from a longitudinal study in the automotive industry. **R&D Management**, v. 45, n. 3, p. 287-303, 2015.

MARQUES, L. da C.; NUNES, A. B. de A. Análise da eficiência do tratamento em reatores UASB em Fortaleza-CE. **Revista DAE**, v. 66, n. 212, p. 95-104, 2018.

**ATIVIDADE ANTIFÚNGICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE *CYMBOPOGON WINTARIANUS* CONTRA ISOLADOS CLÍNICOS DE *CANDIDA ALBICANS***

**Guilherme M. Prado<sup>\*1</sup>, Josilayne de F. S. Mendes<sup>2</sup>, Rafael Pereira<sup>3</sup>, Jean P. C. do Vale<sup>4</sup>, Raquel O. dos S. Fontenelle<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde, Universidade Federal do Ceará,  
\*e-mail: guimp2105@gmail.com.

<sup>2</sup>Universidade Estadual Vale do Acaraú, Centro de Ciências Biológicas.

<sup>3</sup>Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Estadual do Ceará.

<sup>4</sup>Universidade Estadual Vale do Acaraú, Centro de Ciências Exatas.

**RESUMO:** Dentre a biodiversidade brasileira algumas plantas utilizadas pelas comunidades são nativas ou adaptadas, como Capim-citronela (CC) que apresenta

compostos fitoquímicos com potencial antimicrobiano sobre cepas de *Candida* sp.. Deste modo o presente trabalho objetiva avaliar a ação do óleo essencial (OE) de CC contra isolados clínicos-hospitalares de *Candidas albicans*. O estudo apresenta uma abordagem experimental e quantitativa-qualitativa, no qual houve a determinação da atividade do OE, extraído por hidrodestilação, com posterior método de Concentração Inibitória Mínima (CIM) e Concentração Fungicida Mínima (CFM) para determinar a ação antifúngica do OE sobre *C. albicans* isolados no hospital da Santa Casa de Misericórdia de Sobral, Ceará, sendo o presente trabalho realizado após aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa (CEP). Após a realização do teste foram obtidos resultados para CIM e CFM, respectivamente, de 0,156 e 0,65 mg/mL. Deste modo, conclui-se que OE de capim-citronela apresenta atividades contra cepas de *C. albicans* isoladas de pacientes hospitalizados, sendo assim um potencial fonte para desenvolvimento de novos fármacos antimicrobianos.

**Palavras-chave:** Citronela. Microbiologia. Plantas Medicinais.

**ABSTRACT:** Among Brazilian biodiversity, some plants used by native or adapted communities, such as Capim-citronela (CC), which presents phytochemical compounds with antimicrobial potential on *Candida* sp. Thus, the present work aims to evaluate the action of CC essential oil (OE) against clinical and hospital isolates of *Candidas albicans*. The present study presents an experimental and quantitative-qualitative approach, in which this activity was determined using the extracted OE, by hydrodistillation, with a subsequent method of Minimum Inhibitory Concentration (MIC) and Minimum Fungicide Concentration (CFM) to determine the action of the OE on *C. albicans* isolated at the Santa Casa de Misericórdia Hospital in Sobral, Ceará, this work being carried out after approval by the Research Ethics Committee (CEP). After the test, results were obtained for MIC and CFM, respectively, of 0.156 and 0.65 mg / mL. Thus, it is concluded that citronella grass OE presents activities against strains of *C. albicans* isolated from hospitalized patients, being a potential source for the development of new antimicrobial drugs.

**Keywords:** Citronela. Microbiology. Plants Medicinal.

## 1 INTRODUÇÃO

Na biodiversidade brasileira encontra-se grandes diversidade de espécimes vegetais, dentre essas plantas algumas são nativas e outras bem adaptadas a zona climáticas tropicais, que se estende a maior porção do território brasileiro. No território nacional também se encontra alguns dos ecossistemas mais ricos em espécimes vegetais, tendo destaque para Amazônia, Cerrado e Mata atlântica (SOUSA *et al.*, 2017). Devido essa variedade de plantas e possibilidade do seu emprego para sanar doenças, a população utiliza desse conhecimento empírico sobre as plantas para tratar patologias. Tendo em vista esse saber etnobotânico, o uso de plantas medicinais se tornou fonte para estudos científicos (GROSS *et al.*, 2019).

Dentre essa variedade plantas algumas famílias como as Poaceae apresentam representantes com potencial medicinal, sendo um desses representantes o *C. winterianos* popularmente conhecido como capim-citronela (CC) é uma monocotiledônea originaria do velho mundo, entretanto cultivada e adaptada ao clima tropical (AVOSEH *et al.*, 2015).

O potencial medicinal desses vegetais é proveniente do metabolismo secundário dessas plantas, esses metabolitos possuem uma variedade de compostos químicos que podem ser classificados pela farmacognosia em alcaloides, taninos, flavonoide, antocianinas e os terpenoides. Este último, sendo o grupo que está contido os óleos essenciais (OE), um tipo de óleo volátil amplamente estudado devido sua variedade de componentes e bioatividades, sendo o composto majoritário presente no capim-citronela, comumente, o citronelal (FELIPE; BICAS, 2017; SANTOS *et al.*, 2019).

Em relação as atividades biológicas estudadas do CC o potencial inseticida e antimicrobiano, se destacam. Dentre os agentes infecciosos já testados, cepas de *Candidas albicans* tiveram seu crescimento inibidos. Todavia, ainda são poucos os ensaios microbiológicos com cepas hospitalares de *Candidas* sp. e *C. winterianos*, sendo esses microrganismos comumente resistente a farmacoterapia (SANTOS *et al.*, 2019).

Assim o trabalho objetiva avaliar ação do óleo essencial de Capim-citronela

contra cepas de *Candidas albicans* isoladas de pacientes no hospital Santa Casa de Misericórdia de Sobral (SCMS).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Tipo de estudo

O estudo possui uma abordagem qualitativo-quantitativa e experimental. Sendo uma pesquisa experimental pois os fatores externos não geram influências no experimento, possuindo uma forma de controle e observações dos efeitos estudados. Já em relação ao estudo qualitativo-quantitativo pois os dados coletados foram quantificados (transformados numericamente) e qualitativo devido avaliação de crescimento (GIL, 2017).

### 2.2 Óleo essencial

Para obtenção do OE de *Cymbopogon winterianus*, foi necessário utilizar das folhas frescas, higienizadas com água corrente e destilada. Após esses procedimentos, as folhas foram cortadas e pesadas para serem utilizadas. O extrato foi produzido pelo método de hidrodestilação, que consiste no procedimento de arraste a vapor e condensação utilizando o equipamento Clevenger. Inicialmente foram pesados, em média 706,52 g de material vegetal e adicionado 3 litros água destiladas num balão de fundo rendo e levado a aquecimento, numa manta elétrica (EHLERT *et al.*, 2006; PRADO, 2020).

Em seguida, o sistema de hidrodestilação foi acoplado ao balão. Quando observado à ebulição da água destilada no interior do balão, iniciou-se a contagem de uma hora e trinta minutos, para finalização do procedimento de destilação, e obtenção do óleo. Foi adicionado, aproximadamente, 0,5 g de Sulfato de Sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) Anidro para purificação do óleo, retirando possíveis resíduos de água (EHLERT *et al.*, 2006; PRADO, 2020).

Posteriormente, foi solubilizado o óleo de CC em Tween<sup>®</sup> 80 a 0, 02% e diluído



em meio *Roswell Park Memorial Institute* (RPMI-1640) para obter uma concentração de 10 mg/mL. Partindo desta concentração, uma diluição seriada será realizada em placa 96-well com uma concentração inicial de 2, 5 mg/mL.

### 2.3 Cepas de leveduras

As cepas de leveduras são originárias de isolados clínicos fornecidas pelo hospital Santa Casa de Misericórdia de Sobral, Ceará. Possuindo identificação fenotípica e molécula realizada por CROMO ágar, Vitek® 2 e por Reação em Cadeia Polimerase (PCr).

Os fungos foram reativados em meio Sabouraud, em incubação por 24 horas a 37 °C. Após esse período, realizou-se a suspensão das leveduras em solução salina a 0,9%, deste modo preparando o inóculo na concentração  $1,5 \times 10^8$  UFC/mL. Posterior a essa etapa foi preparado uma diluição do inóculo leveduriforme em meio RPMI-1640 na proporção 1: 2000, respectivamente, adquirindo concentração de  $5 \times 10^4$  UFC/mL e realizado o teste de concentração inibitória mínima (CIM).

### 2.4 Concentração inibitória mínima (CIM) e concentração fungicida mínima (CFM)

A determinação da concentração inibitória mínima (CIM) dos OE foi realizada de acordo com a metodologia de microdiluição em placas de poliestireno 96-well padrão de acordo com a 10ª edição M7-A, métodos de diluição antimicrobiana. Testes de suscetibilidade para cepas de leveduras, de acordo com o Instituto de Normas Clínicas e Laboratoriais (CLSI, 2018). Posteriormente, as placas serão analisadas pelo leitor ELISA.

Inicialmente, foi montado e distribuidora placa meio de cultura, a solução de óleo essencial (em microdiluição seriada), as amostras e os controles (de crescimento fúngico, de contaminação do meio e o óleo e de ação do Tween nas leveduras). Após a montagem foi uma leitura inicial (tempo zero) num leitor ELISA com um comprimento de onda de 620 nm. Em seguida, a placa de 96 poços foi incubada a 37 ° C por 24 horas e, após esse período, uma nova leitura foi realizada no leitor ELISA (620 nm).

A determinação da Concentração fungicida mínima (CFM) foi realizada

utilizando-se o método proposto por Courvalin *et al.* (1995). Após a determinação do CIM, 10 µL dos poços onde não houve crescimento microbiano visível foram transferidos para placas de Petri contendo meio ágar Sabouraud, então incubadas a 37 ° C por 24 horas na estufa de crescimento aeróbio.

## 2.5 Estatística e aspectos éticos

Posterior, a leitura das placas foi realizada a média e desvio padrão da absorbância obtida no tempo zero e 24 horas, observado onde ocorreu inibição e calculado qual concentração do óleo essencial contido naquele poço. Já em relação aos aspectos éticos as presentes cepas clínicas utilizadas nesses experimentos foram autorizadas Comitê de ética humano da Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA) pelo protocolo N° 644. 365.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização do teste de CIM do óleo essencial de CC constatou-se que a inibição do crescimento era dependente da concentração. Sendo assim observado que aproximadamente 0, 156 mg/ mL do OE foi capaz de inibir o crescimento das cepas clínicas e ATCC 90028 de *C. albicans*. Em relação a CFM observou que o óleo essencial apresentava atividade fungicida, entretanto em concentrações elevadas para inibição o crescimento, sendo essa quantidade de 0, 65 mg/ mL (Tabela 1).

**Tabela 1 – Concentração inibitória e fungicida mínima do Óleo essencial de *C. winterianus* contra *Candida albicans* pelo método de microdiluição em caldo**

Cepas de <i>C. albicans</i>	CIM* (mg/mL)	CFM** (mg/mL)
ATCC 90028	0,15625	0, 65
0101	0,15625	0, 65
0102	0,15625	0, 65
0104	0,15625	0, 65
0105	0,15625	0, 65

Fonte: Próprio autor (2020).

\*CIM: Concentração fungicida mínima.

\*\*CFM: Concentração inibitória mínima.

Deste modo, a avaliação da atividade antimicrobiana do óleo essencial de *Cymbopogon winterianus* contra cepas de *C. albicans* mostraram resultados relevantes, assim como os encontrados por De Almeida *et al.* (2016). Sendo essa atividade proveniente do composto citronelal, normalmente, abundante nessa espécie de *Cymbopogon* tendo seu mecanismo de ação sobre a parede ou membrana celular, diminuindo os níveis de ergosterol. Além disso, observou aumento do estresse oxidativo e consequentemente aumento da produção de radicais livres das células fúngicas (SINGH; FATIMA; HAMEED, 2016; SANTOS *et al.*, 2019).

A respeito do CFM observou-se inibição com doses maiores do óleo essencial em comparação ao CIM, sendo resultados semelhantes aos encontrados na literatura. No qual o potencial desse OE é evidente como inibidor do crescimento e fungicida em concentrações aceitáveis (SCAZZOCCHIO *et al.* 2015; DE ALMEIDA *et al.*, 2016).

#### 4 CONCLUSÕES

Assim conclui-se o que óleo essencial de Capim-citronela possui potencial pró-inibição do crescimento e fungicidas em cepas de *Candidas albicans* proveniente de isolados hospitalares. Tendo em vista essa característica antimicrobiana desse vegetal, torna-se plausível a melhoria molecular dessa substância e/ou avaliação de atividade sinérgica para o desenvolvimento de novos fármacos.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Agradeço ao laboratório de microbiologia da UFC, Sobral – CE e ao LABIMIC, pela disponibilidade de espaço, materiais e cepas. Ao Prof. Hider Machado pelo material vegetal para realização dos experimentos. Além das instituições Funcap e Cnpq.

## 6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, L. de F. D. de; PAULA, J. F. de; ALMEIDA, R. V. D. de; WILLIAMS, D. W.; HEBLING, J.; CAVALCANTI, Y. W. Efficacy of citronella and cinnamon essential oils on *Candida albicans* biofilms. **Acta Odontologica Scandinavica**, v. 74, n. 5, p. 393-398, 2016.

AVOSEH, O.; OYEDEJI, O.; RUNGQU, P.; NKEH-CHUNGAG, B.; OYEDEJI, A. *Cymbopogon* species; ethnopharmacology, phytochemistry and the pharmacological importance. **Molecules**, v. 20, n. 5, p. 7438-7453, 2015.

CLSI. **Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing**: 28 th ed. Wayne, PA: Clinical and Laboratory Standards Institute. 2018. 269 p.

COURVALIN, P.; GOLDSTEIN, F.; PHILIPPON, A.; SIROT, J. **L'Antibiogramme**. Ed. MPC– Videom, Paris, France. 1985. p. 19-22.

EHLERT, P. A. D.; BLANK, A. F.; ARRIGONI-BLANK, M. F.; PAULA, J. W. A.; CAMPOS, D. A.; ALVIANO, C. S. Tempo de hidrodestilação na extração de óleo essencial de sete espécies de plantas medicinais. **Revista Brasileira de Plantas Medicinais**, v. 8, n. 2, p. 79-80, 2006.

FELIPE, L. O.; BICAS, J. L. Terpenos, aromas e a química dos compostos naturais. **Química Nova na Escola**, v. 39, n. 2, p. 120-130, 2017.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GROSS, A. V.; STOLZ, E. D.; MÜLLER, L. G.; RATES, S. M. K.; RITTER, M. R. Medicinal plants for the "nerves": a review of ethnobotanical studies carried out in South Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 33, n. 2, p. 269-282, 2019.

PRADO, Guilherme Mendes. **Produção e avaliação de estabilidade preliminar de gel com hidroxietilcelulose e cold cream acrescidos com óleo essencial *Cymbopogon citratus***. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Farmácia) - Centro Universitário INTA (UNINTA), Sobral, 2019.

SANTOS, P. L.; MATOS, J. P. S. C. F.; PICOT, L.; ALMEIDA, J. R. G. S.; QUINTANS, J. S. S.; QUINTANS-JÚNIOR, L. J. Citronellol, a monoterpene alcohol with promising pharmacological activities-A systematic review. **Food and Chemical Toxicology**, v. 123, p. 459-469, 2019.

SCAZZOCCHIO, F.; GARZOLI, S.; CONTI, C.; LEONE, C.; RENAIOLI, C.; PEPI, F.; ANGIOLELLA, L. Properties and limits of some essential oils: chemical characterisation, antimicrobial activity, interaction with antibiotics and cytotoxicity. **Natural product research**, v. 30, n. 17, p. 1909-1918, 2016.

SINGH, S.; FATIMA, Z.; HAMEED, S. Citronellal-induced disruption of membrane homeostasis in *Candida albicans* and attenuation of its virulence attributes. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 49, n. 4, p. 465-472, 2016.

SOUSA, I. J. O.; ARAÚJO, S. de; NEGREIROS, P. dos S.; FRANÇA, A. R. D. S.; ROSA,

G. D. S.; NEGREIROS, F. D. S; GONÇALVES, R. L. G. A diversidade da flora brasileira no desenvolvimento de recursos de saúde. **Revista Uningá Review**, v. 31, n. 1, p. 35-39, 2017.

## **AValiação DA ATIVIDADE LOCOMOTORA E TESTE DE TOXICIDADE DO EUGENOL UTILIZANDO ZEBRAFISH (*DANIO RERIO*) ADULTO**

**Cecília G. Lemos<sup>1\*</sup>, Jean P. C. do Vale<sup>2</sup>, Claudiani D. Gomes<sup>2</sup>, Maria K. A. Ferreira<sup>1,3</sup>, Jane Eire S. A. de Menezes<sup>1,3</sup>, Hécio S. dos Santos<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Laboratório de Química de Produtos Naturais, Universidade Estadual do Ceará, \*e-mail: cecilia.lemos@aluno.uece.br.

<sup>2</sup>Universidade Estadual Vale do Acaraú, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia.

<sup>3</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciência e Tecnologia.

**RESUMO:** Eugenol é o componente majoritário do óleo essencial do cravo (*Syzygium aromaticum*). Possui efeito no sistema nervoso central em camundongos e ratos. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a atividade locomotora e toxicidade aguda do eugenol utilizando zebrafish adulto. Para o teste de campo aberto, os zebrafish

receberam doses do eugenol (4, 20 e 40 mg/kg); DMSO 3% e DZP 40mg/kg. Após 30 min, os animais foram adicionados em placas de Petri, e analisada a atividade locomotora através da contagem do número de CL (5 min). Para avaliação da toxicidade, os animais receberam os mesmos tratamentos e após 96h de análise, os valores obtidos com o número de ZFa mortos foram submetidos à análise estatística para estimar DL para matar 50%. O eugenol alterou o sistema locomotor do zebrafish e não foi tóxico até 96h de análise. A ausência de toxicidade e a alteração no sistema locomotor do zebrafish mostra a segurança não clínica do eugenol e nos permite dar continuidade nos testes e investigar possível efeito ansiolítico e anticonvulsivante.

**Palavras-chave:** Eugenol. Sistema locomotor. Zebrafish.

**ABSTRACT:** Eugenol is the major component of the essential oil of cloves (*Syzygium aromaticum*). It has an effect on the central nervous system in mice and rats. The present study aimed to evaluate the locomotor activity and acute toxicity of eugenol using adult zebrafish. For the open field test, zebrafish received doses of eugenol (4, 20 and 40 mg / kg); DMSO 3% and DZP 40mg / kg. After 30 min, the animals were added to Petri dishes, and locomotor activity was analyzed by counting the number of CL (5 min). For toxicity assessment, the animals received the same treatments and after 96 hours of analysis, the values obtained with the number of ZFa killed were subjected to statistical analysis to estimate DL to kill 50%. Eugenol altered the zebrafish's locomotor system and was not toxic until 96 hours of analysis. The absence of toxicity and the alteration in the zebrafish locomotor system shows the non-clinical safety of eugenol and allows us to continue testing and investigate possible anxiolytic and anticonvulsant effects.

**Keywords:** Eugenol. Locomotor system. Zebrafish.

## 1 INTRODUÇÃO

Os principais componentes químicos do óleo essencial do cravo da Índia são: acetato de eugenila, cariofileno e eugenol (AFFONSO *et al.*, 2012). Eugenol [2 metoxi-4-

(2-propenil) fenol] é o principal ingrediente ativo do óleo de cravo, que é derivado das folhas, botões e caules do cravo-da-índia (*Eugenia caryophyllata*) e tem amplo uso como anestésico para organismos aquáticos devido ao seu baixo preço e disponibilidade imediata (ROUBACH *et al.*, 2005).

Há relatos de estudos experimentais de vários efeitos do eugenol no sistema nervoso central em camundongos e ratos Sharma *et al.* (2012) além disso o composto possui propriedades anticonvulsivantes, anti-inflamatórias, antiestresse, antioxidantes, anestésicas e antimicrobianas (MÜLLER *et al.*, 2006; SELL; CARLINI, 1976).

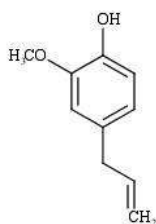
Durante investigações neurofarmacológicas, ambientais e entre outras áreas, o zebrafish (*Danio rerio*) vem sendo utilizado como modelo organismo e no Brasil houve um crescimento de publicações principalmente nas áreas (Neurociências e Comportamento, Farmacologia e Toxicologia e Meio Ambiente / Ecologia) (SILVESTRE *et al.*, 2020). É considerado um modelo significativo principalmente porque seu genótipo apresenta 70% de homologia exclusiva nos receptores de neurotransmissores para mamíferos segundo Anichtchik *et al.* (2007), além do seu pequeno tamanho, alto poder de proliferação, desenvolvimento transparente e rápido que pode facilitar significativamente a descoberta de drogas em estudos utilizando este animal como modelo (FACCIOL; GERLAI, 2020). Diante disso, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a atividade locomotora (AL) e toxicidade aguda do eugenol utilizando zebrafish adulto.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Obtenção do eugenol

O eugenol (Figura 1) foi adquirido da Sigma-Aldrich (Milwaukee, WI, USA).

**Figura 1- Estrutura química do eugenol**



## 2.2 Zebrafish

Zebrafish (*Danio rerio*) adulto, selvagens, ambos os sexos com idade de 60-90 dias, tamanhos de  $3.5 \pm 0.5$  cm e peso  $0.4 \pm 0.1$  g foram obtidos da Agroquímica: Comércio de Produtos Veterinários LTDA, um fornecedor em Fortaleza (Ceará, Brasil). Todos os procedimentos experimentais foram aprovados pelo Comitê de Ética do Uso de Animais da Universidade Estadual do Ceará (CEUA-UECE), sob protocolo nº 7210149/2016.

## 2.3 Atividade locomotora

Os zebrafish ZFa (n=6/grupo) foram tratados, via intraperitoneal (*i.p.*), com 20  $\mu$ L das soluções do eugenol nas doses (4, 20 e 40 mg/kg) e veículo (DMSO 3%) e diazepam (DZP; 40mg/kg). Após 30 min dos tratamentos, os animais foram adicionados em placas de Petri, marcadas com quadrantes e analisada a AL através da contagem do número de cruzamento de linhas, durante 5 min. Animais sem tratamentos (Naive) foram considerados como 100% e calculado o percentual de atividade locomotora (%AL).

## 2.4 Toxicidade 96 h

O estudo da toxicidade aguda foi realizado frente ao zebrafish de acordo com a Organização de Cooperação Econômica e Método Padrão de Desenvolvimento (OECD, 1992) para determinar a LC<sub>50</sub>-96 h. Os animais receberam os mesmos



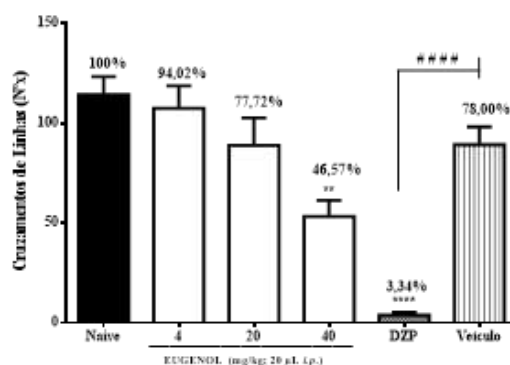
tratamentos descritos em 2.3. Após 96 h de análise, o número de ZFa mortos foram submetidos à análise estatística, estimando-se a Dose Letal para matar 50% (DL<sub>50</sub>).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Atividade locomotora

Um dos parâmetros para estudos comportamentais em larvas e animais adultos é a análise da AL por exploração de um campo aberto (BICHARA *et al.*, 2014; FERREIRA *et al.*, 2020). O teste de campo aberto é utilizado principalmente quando se tem o objetivo de analisar manifestações comportamentais sugestivas de ansiedade, estresse e também o efeito de futuros fármacos. Como resultado, observou-se que o eugenol causou comprometimento motor do zebrafish, onde ocorreu uma redução no número de cruzamento de linha na placa de petri pelos animais, resultado significativamente diferente do grupo naíve ( $p < 0,01$ ; vs. naíve) (Figura 2).

**Figura 2- Efeito eugenol sob a atividade locomotora do zebrafish (*Danio rerio*) adulto no Teste de Campo Aberto**



A diminuição da atividade locomotora em zebrafish adulto causada pelo eugenol sugere uma possível ação sedativa, tais como os benzodiazepínicos (drogas ansiolíticas), os quais diminuem AL (mobilidade) do zebrafish (*Danio rerio*) adulto em

campo aberto (BENNEH *et al.*, 2017; GUPTA *et al.*, 2014).

### 3.2 Toxicidade aguda (96 h)

Uma das maiores linhas de pesquisa reconhecida com zebrafish é na área de toxicologia. Para analisar a toxicidade de um produto químico, é essencial identificar os pontos finais da toxicidade e sua dose-resposta, e assim elucidar os mecanismos de toxicidade. Como resultado, constatou-se que o eugenol se mostrou seguro, pois não foi tóxico frente a ZFa até 96 h de análise ( $DL_{50} > 40$  mg/kg).

## 4 CONCLUSÃO

A ausência de toxicidade e a alteração no sistema locomotor do zebrafish após tratamentos mostra a segurança não clínica do eugenol e nos permite dar continuidade nos testes e investigar possível efeito ansiolítico e anticonvulsivante, este que por sua vez foi realizado com eugenol utilizando roedores.

## 5 REFERÊNCIAS

AFFONSO, R. S.; RENNÓ, M. N.; SLANA, G. B. C. A.; FRANÇA, T. C. C. Aspectos Químicos e Biológicos do óleo Essencial de Cravo da Índia. **Revista Virtual de Química**, v. 4, n. 2, p. 146-161, 2012.

ANICHTCHIK, O. *et al.* Express 10,000 Genes. **Comparative and General Pharmacology**, v. 1156, n. August 2006, p. 1138-1156, 2007.

BENNEH, C. K.; BINEY, R. P.; MANTE, P. K.; TANDOH, A.; ADONGO, D. W.; WOODE, E. *Maerua angolensis* stem bark extract reverses anxiety and related behaviours in zebrafish—Involvement of GABAergic and 5-HT systems. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 207, p. 129-145, 2017.

BICHARA, D.; CALCATERRA, N. B.; ARRANZ, S.; ARMAS, P.; SIMONETTA, S. H. Set-up of an infrared fast behavioral assay using zebrafish (*Danio rerio*) larvae, and its application in compound biotoxicity screening. **Journal of Applied Toxicology**, v. 34, n. 2, p. 214-219, 2014.

FACCIOL, A.; GERLAI, R. Zebrafish Shoaling, Its Behavioral and Neurobiological Mechanisms, and Its Alteration by Embryonic Alcohol Exposure: A Review. **Frontiers in Behavioral Neuroscience**, v. 14, n. September, p. 1-12, 2020.

FERREIRA, M. K. A.; da SILVA, A. W.; SILVA, F. C. O.; VIEIRA NETO, A. E.; CAMPOS, A. R.; SANTOS, S. A. A. R.; TEIXEIRA, A. M. R.; XAVIER, J. da C.; BANDEIRA, P. N.; NOGUEIRA, C. E. S.; DE BRITO, D. H. A.; REBOUÇAS, E. L.; MAGALHÃES, F. E. A. Anxiolytic-like effect of chalcone N-{4'[(2E)-3-(3-nitrophenyl)-1-(phenyl)prop-2-en-1-one]} acetamide on adult zebrafish (*Danio rerio*): Involvement of the 5-HT system. **Biochemical and Biophysical Research Communications**, v. 526, n. 2 p. 505-511, 2020.

GUPTA, P.; KHOBRAGADE, S. B.; SHINGATGERI, V. M.; SRINIVASANVYAS, M. R. Assessment of locomotion behavior in adult Zebrafish after acute exposure to different pharmacological reference compounds. **Drug Development and Therapeutics**, v. 5, n. 2, p. 127-133, 2014.

MÜLLER, M.; PAPE, H. C.; SPECKMANN, E. J.; GORJI, A. Effect of eugenol on spreading depression and epileptiform discharges in rat neocortical and hippocampal tissues. **Neuroscience**, v. 140, n. 2, p. 743-751, 2006.

ROUBACH, R.; GOMES, L. C.; LEÃO FONSECA, F. A.; VAL, A. L. Eugenol as an efficacious anaesthetic for tambaqui, *Colossoma macropomum* (Cuvier). **Aquaculture Research**, v. 36, n. 11, p. 1056-1061 2005.

SELL, A. B.; CARLINI, E. A. Anesthetic action of methyleugenol and other eugenol derivatives. **Pharmacology**, v. 14, n. 4, p. 367-377, 1976.

SHARMA, M.; RAUNIAR, G.; DAS, B. Experimental study of various central nervous system effects of eugenol in mice and rats. **Health Renaissance**, v. 10, n. 3, p. 208-214, 2012.

SILVESTRE, N.; CANEDO, A.; BRAGA, D. L. de S.; LUCHIARI, A. C.; ROCHA, T. L. Zebrafish as an Emerging Model System in the Global South : Two Decades of Research in Brazil. **Zebrafish**, v. 17, n. 6, p. 412-425, 2020.

## **AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA NÃO CLÍNICA DO EXTRATO DAS FOLHAS DE *COMBRETUM LANCEOLATUM* EM ZEBRAFISH ADULTO**

**Ketelly V. B. Sales<sup>\*1</sup>, Joyce dos R. Lima<sup>2</sup>, Vitória E. L. Bantim<sup>1</sup>, Hélcio S. dos Santos<sup>3</sup>, Jane Eire S. A. de Menezes<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Curso de Licenciatura em Química, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciência e Tecnologia, \*e-mail: ketely.sales@aluno.uece.br.

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciência e Tecnologia.

<sup>3</sup>Curso de Licenciatura em Química, Universidade do Vale do Acaraú, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia.

<sup>4</sup>Laboratório de Química de Produtos Naturais, Universidade Estadual do Ceará.

**RESUMO:** *Combretum lanceolatum* Pohl ex Eichler conhecido como "pombeiro-vermelho", é distribuído do norte ao sudeste do Brasil. O presente trabalho busca avaliar a segurança não clínica do *Combretum Lanceolatum* Pohl ex Eichler (EtFoCl) frente ao

zebrafish (*Danio rerio*) adulto. Os animais (n=6/grupo) foram tratados, via oral, com 20  $\mu$ L do EtFoCl (0,1, 0,5, 1,0, 5,0 e 10,0 mg/mL; 20  $\mu$ L) e veículo (DMSO 3%) submetidos ao teste de toxicidade aguda. Foi calculada a dose letal para matar 50% (DL<sub>50</sub>) do zebrafish (ZFa) em até 96h. Um grupo não tratado (Naive) foi incluído. Além disso, foi realizado o teste de campo aberto para avaliar se houve alteração da coordenação motora nos animais. Foram utilizados média  $\pm$  ANOVA, seguida do teste de Tukey. Como resultado, o EtFoCl não se mostrou tóxico. Os peixes expostos a concentrações maiores tiveram comprometimento no sistema locomotor, pois houve a diminuição da quantidade de cruzamentos, indicando sedação e/ou relaxamento muscular.

**Palavras-chave:** *Combretum lanceolatum*. Zebrafish. Produtos Naturais.

**ABSTRACT:** *Combretum lanceolatum* Pohl ex Eichler known as "red pombeiro", is distributed from the north to the southeast of Brazil. The present work seeks to evaluate the non-clinical safety of *Combretum Lanceolatum* Pohl ex Eichler (EtFoCl) against adult zebrafish (*Danio rerio*). The animals (n=6/group) were treated orally with 20  $\mu$ L of EtFoCl (0.1, 0.5, 1.0, 5.0 and 10.0 mg/mL; 20  $\mu$ L) and vehicle (DMSO 3%) subjected to the acute toxicity test. The lethal dose was calculated to kill 50% (LD<sub>50</sub>) of the zebrafish (ZFa) in up to 96 hours. An untreated group (Naive) was included. In addition, an open field test was performed to assess whether there was a change in motor coordination in the animals. Mean  $\pm$  ANOVA was used, followed by the Tukey test. As a result, EtFoCl was not toxic. Fish exposed to higher concentrations had impaired the locomotor system, as there was a decrease in locomotor activity, indicating sedation and/or muscle relaxation

**Keywords:** *Combretum lanceolatum*. Zebrafish. Natural Products.

## 1 INTRODUÇÃO

A sub-área mais antiga da química orgânica é a química de produtos naturais. O Brasil se situa em posição privilegiada para a ciência de produtos naturais, em decorrência de ser um dos países mais biodiversos e ter constituído um grande corpo de

pesquisadores de química de produtos naturais. A bioprospecção, atualmente renomeada de biodescoberta, objetiva a investigação de moléculas bioativas com o propósito de se descrever novos modelos de fármacos (BERLINCK *et al.*, 2017).

*Combretum lanceolatum* Pohl ex Eichler conhecido como "pombeiro-vermelho", é distribuído do norte ao sudeste do Brasil e é encontrado em vários domínios fitogeográficos incluindo Amazônia, Pantanal, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica. Sua floração ocorre entre abril a novembro. Estudos etnofarmacológicos demonstraram que as plantas do gênero *Combretum* apresentam atividade antidiabética. A literatura tem reportado pouco estudos sobre esta espécie, sendo realizado a avaliação do extrato metanólico das flores, a qual resultou no isolamento flavonóides (DECHANDT *et al.*, 2012).

O zebrafish (*Danio rerio*) (Figura 1) é atualmente é considerado um dos melhores modelos de animais vertebrados para análises de ensaios biológicos voltados para a toxicidade. A sua fecundação se dá externamente e o embrião se desenvolve de forma rápida em um ovo translúcido. Tais características foram de grande importância para a popularização inicial do zebrafish como modelo para estudos científicos, em especial estudos sobre genética, toxicologia e comportamento social (SILMANI *et al.*, 2014). Portanto, o presente trabalho busca avaliar a segurança não clínica do *Combretum Lanceolatum* Pohl ex Eichler frente ao zebrafish (*D. rerio*) adulto.

**Figura 1 – Zebrafish (*Danio rerio*) adulto**



Fonte: Elaborado pelos autores.

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1 Obtenção do extrato**

O extrato etanólico foi obtido das folhas de *Combretum lanceolatum* Pohl ex Eichler (EtFoCl) segundo metodologia descrita por Braquehais *et al.* (2016).

Separadamente, as partes das plantas foram submetidas à secagem a temperatura ambiente ( $30 \pm 2$  °C), trituradas e submersas em etanol (70%) para extração exaustiva a frio por 96 h. Em seguida, foram realizadas filtrações simples, sob condições assépticas, e após evaporação simples do solvente, em banho-maria a 50 °C, o extrato obtido foi armazenado em geladeira (5 °C) até utilização.

## 2.2 Animais

Zebrafish adulto (ZFa) com 60 a 90 dias ( $0,4 \pm 0,1$  g), selvagens, de ambos os sexos, foram obtidos de um fornecedor comercial (Fortaleza, CE). Os animais foram mantidos em aquário de vidro ( $n=5/L$ ), à temperatura de  $25 \pm 2$  °C, em ciclos de claro-escuro por 24 h. Água foi tratada com anticloro. Os bioensaios realizados estão de acordo com os Princípios Éticos de Experimentação Animal e foram aprovados pelo Comitê de Ética para o Uso de Animais (CEUA) da Universidade Estadual do Ceará (#7210149/2016). Após os experimentos, os animais foram sacrificados por congelamento, imersos em água gelada (2-4 °C), por 10 min até perda de movimentos operculares (CONCEA, 2018).

## 2.3 Toxicidade aguda em 96 h

O estudo da toxicidade aguda foi realizado frente ao zebrafish adulto de acordo com a para determinar a  $DL_{50-96}$  h. A mortalidade foi controlada de 12 em 12 h após o início dos testes. Os animais ( $n=6/grupo$ ) foram tratados, via oral, com 20  $\mu$ L do EtFoCl (0,1, 0,5, 1,0, 5,0 e 10,0 mg/mL; 20  $\mu$ L), veículo (DMSO 3%). Após 96 h, foi verificado o número de peixes mortos em cada grupo e determinado a dose letal capaz de matar 50% dos animais ( $DL_{50}$ ) através do método matemático Trimmed Spearman-Kärber com intervalo de confiança de 95% (ARELLANO-AGUIAR *et al.*, 2015).

## 2.4 Atividade locomotora (Teste de Campo Aberto)

Foi realizado o teste de campo aberto para avaliar se houve alteração da coordenação motora dos animais, seja por sedação e/ou relaxamento muscular. Inicialmente, os animais (n=6/grupo) foram tratados, via oral, com EtFoCl (0,1, 0,5, 1,0, 5,0 e 10,0 mg/mL; 20  $\mu$ L) e veículo (DMSO 3%). Um grupo de animais (n=6/grupo) sem tratamento (naive) foi incluso. Após 1h de tratamento, os animais foram adicionados em placas de Petri (10x15 cm), contendo a mesma água do aquário, marcadas com quatro quadrantes e analisada a atividade locomotora através da contagem do número de cruzamento de linhas (CL). Usando o valor de CL do grupo naive como linha de base (100%), foi calculada a porcentagem de cruzamentos de linha (CL%) individualmente durante 0-5 minutos (MAGALHÃES *et al.*, 2017).

## 2.5 Análise estatística

Os resultados foram expressos como média  $\pm$  desvio padrão da média para testes *in vivo* (n=6/grupo). Após confirmação da distribuição de normalidade e homogeneidade dos dados, as diferenças entre os grupos foram submetidas à análise de variância (ANOVA one-way), seguida do teste de Tukey, por meio do software GraphPad Prism 7.0. O nível de significância estatística considerado foi de 5% (p <0,05).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Toxicidade aguda em ZFa

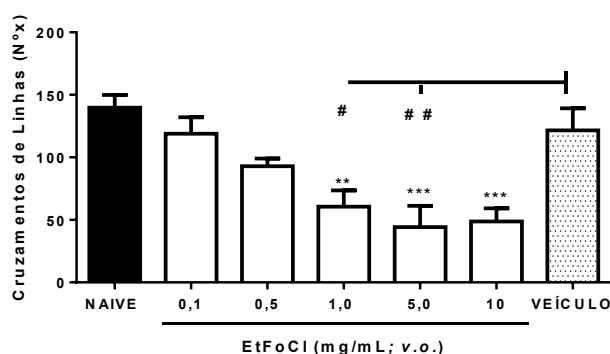
Verificou-se que todas as concentrações (0,1, 0,5, 1,0, 5,0 e 10,0 mg/mL) do EtFoCl não foram tóxicas frente ao ZFa durante as 96 horas de análise (CL<sub>50</sub>>10,0 mg/mL).

### 3.2 Teste de Campo Aberto



Como resultado do campo aberto (Figura 2), os animais tratados com EtFoCl nas maiores concentrações (1,0, 5,0 e 10 mg/mL) tiveram redução na atividade locomotora, resultado significativamente diferente do controle negativo ( $p < 0,001$ ,  $p < 0,01$ , vs. Naive). Já as menores concentrações do extrato (0,1 e 0,5 mg/mL) não causaram comprometimento locomotor pois não houve diferença estatística em relação aos controles (naive e DMSO 3%).

**Figura 2 - Efeito do EtFoCl no comportamento locomotor de zebrafish (*Danio rerio*) adulto no Teste de Campo Aberto (0-5 min). Os valores representam a média  $\pm$  erro padrão da média (E.P.M.) para 6 animais/grupo; ANOVA seguida de Tukey. \* $p < 0,01$ ; \*\* $p < 0,001$  vs Naive; # $p < 0,05$ ; # # $p < 0,01$  vs DMSO 3%. Os números acima de cada coluna indicam porcentagem de cruzamentos de linha**



Fonte: Elaborado pelos autores.

#### 4 CONCLUSÕES

O extrato do fruto de *Combretum Laceolatum* Pohl ex Eichler não foi tóxico frente ao zebrafish. No entanto, no teste de campo aberto, os peixes expostos a concentrações maiores tiveram comprometimento no sistema locomotor, pois houve redução de cruzamentos, indicando sedação e/ou relaxamento muscular.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à FUNCAP e CAPES pelo apoio financeiro para realização desta pesquisa.

## 6 REFERÊNCIAS

ARELLANO-AGUIAR, O.; SOLIS-ANGELES, L.; SERRANO-GARCIA, E.; MOLARES-SIERRA, A.; MENDEZ-SERRANO, R.; MONTERO-MONTOYA, A. Use of the zebrafish embryo toxicity test for risk assessment purpose: case study. **Journal of FisheriesSciences.com**, v. 9, n. 4, p. 52–62, 2015.

BERLINCK, R. G. S.; BORGES, W. de S.; SCOTTI, M.; VIEIRA, P. C. A química de produtos naturais do Brasil do século XXI. **Química Nova**, v. 40, n. 6, p. 706-710, 2017.

BRAQUEHAIS, I. D.; VASCONCELOS, F. R.; RIBEIRO, A. R. C.; DA SILVA, A. R. A.; FRANCA, M. G. A.; DE LIMA, D. R.; PAIVA, C. F.; GUEDES, M. I. F.; MAGALHÃES, F. E. A. Estudo preliminar toxicológico, antibacteriano e fitoquímico do extrato etanólico das folhas de *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. (pinhão-bravo, Euphorbiaceae), coletada no Município de Tauá, Ceará, Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 18, n. 2, p. 582-587, 2016.

CONCEA. Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal. Resolução Normativa Nº 37, de 15 de fevereiro de 2018. Diretrizes da Prática de Eutanásia. **Diário Oficial da União**, n. 36, 22 fev. 2018. Seção 1, p. 5. Disponível em [www.mctic.gov.br/.../concea/...normativas/RN-37-Eutanasia-secao-1-22\\_02\\_18.pdf](http://www.mctic.gov.br/.../concea/...normativas/RN-37-Eutanasia-secao-1-22_02_18.pdf). Acesso em 22/4/18.

DECHANDT, C. R. P.; SIQUEIRA, J. T.; SOUZA, D. L. P.; ARAUJO, L. C. J.; SILVA, V. C.; JUNIOR, P. T. S.; ANDRADE, C. M. B.; KAWASHITA, N. H.; BAVIERA, A. M. Combretum lanceolatum flowers extract shows antidiabetic activity through activation of AMPK by quercetin. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 23, n. 2, p. 291-300, 2013.

MAGALHÃES, F. E. A.; SOUSA, C. A. P. B.; SANTOS, S. A. A. R.; MENEZES, R. B.; BATISTA, F. L. A.; ABREU, A. O.; OLIVEIRA, M. V.; MOURA, L. F. W.; RAPOSO, R. S.; CAMPOS, A. R. Adult zebrafish (*Danio rerio*): an alternative behavioral model of formalin induced nociception. **Zebrafish**, v. 14, n. 5, p. 422-429, 2017.

**ESTUDO CIRCADIANO E AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA NÃO CLÍNICA DOS  
ÓLEOS ESSENCIAIS DE *CROTON BLANCHETIANUS* EM ZEBRAFISH (*DANIO  
RERIO*) ADULTO**

**Pedro H. R. Lopes<sup>\*1</sup>, Jean P. C. do Vale<sup>2</sup>, Maria K. A. Ferreira<sup>1,3</sup>, Hécio S. dos  
Santos<sup>1</sup>, Jane Eire S. A. de Menezes<sup>1,3</sup>, Tigressa H. S. Rodrigues<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Estadual do Ceará,  
Centro de Ciência e Tecnologia, \*e-mail: hlopes2906@gmail.com.

<sup>2</sup>Universidade Estadual Vale do Acaraú, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia.

<sup>3</sup>Laboratório de Química de Produtos Naturais, Universidade Estadual do Ceará.

**RESUMO:** O *Croton blanchetianus* é uma espécie bastante estudada devido a seus compostos biologicamente ativos e destaca-se como um gênero muito utilizado na medicina popular e em estudos científicos. Nos últimos anos, o zebrafish (*Danio rerio*), foi estabelecido como um modelo ideal para estudar a fisiopatologia de doenças relacionadas à inflamação humana e triagem in vivo de alto rendimento. O presente trabalho propõe o estudo circadiano, a avaliação da composição química e avaliação da segurança não clínica dos óleos essenciais de *Croton blanchetianus* (OECB) em Zebrafish (*Danio rerio*) adulto. Os óleos essenciais foram coletados nos horários de 6h, 12 h e 17 h e obtidos por hidrodestilação. A composição química foi determinada por GC-

MS. Os compostos mais abundantes em comum dos óleos em todos os horários foram  $\beta$ -felandreno, eucaliptol,  $\beta$ -cariofileno, biciclogermacreno, espatulenol e  $\alpha$ -pineno. Os dados obtidos também revelaram que OEBC 6h; OEBC 12 h e OEBC 17 h alteraram o sistema locomotor do zebrafish. Em relação à toxicidade aguda, todas amostras são consideradas seguras, pois não se mostraram tóxicas até 96h de análise frente a zebrafish adulto.

**Palavras-chave:** *Croton blanchetianus*. Segurança não clínica. Zebrafish.

**ABSTRACT:** *Croton blanchetianus* is a species that has been extensively studied due to its biologically active compounds and stands out as a genus widely used in folk medicine and scientific studies. In recent years, zebrafish (*Danio rerio*) has been established as an ideal model to study the pathophysiology of diseases related to human inflammation and high-performance *in vivo* screening. The present work proposes the circadian study, the evaluation of the chemical composition and the evaluation of the non-clinical safety of the essential oils of *Croton blanchetianus* (OEBC) in adult Zebrafish (*Danio rerio*). Essential oils were collected at 6:00 am, 12:00 pm and 5:00 pm and obtained by hydrodistillation. The chemical composition was determined by GC-MS. The most abundant compounds in common of oils at all times were  $\beta$ -felandrene, eucalyptol,  $\beta$ -karyophyllene, bicyclogermacrene, spatulenol and  $\alpha$ -pinene. The data obtained also revealed that OEBC 6h; OEBC 12h and OEBC 17h changed the locomotor system of the zebrafish. Regarding acute toxicity, all samples are considered safe, as they were not toxic until 96 hours of analysis against adult zebrafish.

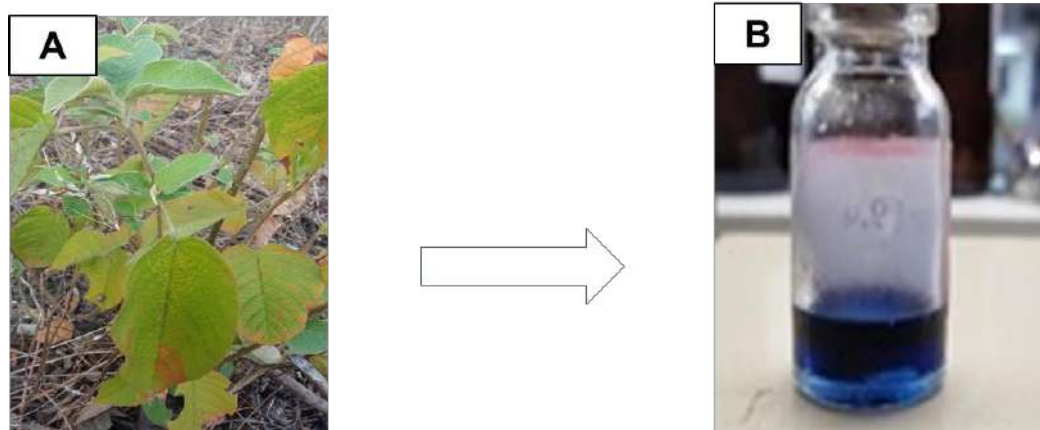
**Keywords:** *Croton blanchetianus*. Non-clinical safety. Zebrafish.

## 1 INTRODUÇÃO

*Croton blanchetianus* (Euphorbiaceae), conhecido como marmeleiro preto ou simplesmente marmeleiro, é uma planta de porte arbustivo, bastante ramificada, endêmica do Brasil e com ocorrência nos estados do nordeste, exceto no Maranhão

(MELO *et al.*, 2013). A nomenclatura dessa espécie foi modificada de *C. sonderianus* para *C. blanchetianus* (Figura 1A) (PEREIRA, 2017).

**Figura 1 – A - *Croton blanchetianus*, B - Óleo essencial de *Croton blanchetianus***



Esta espécie é muito utilizada na medicina popular para distúrbios no estômago, no intestino e hemorragia uterina (CARTAXO; SOUZA; ALBURQUEQUE, 2010). E na literatura são relatadas atividades de seus extratos, como atividade antioxidante, antibacteriana (ANGÉLICO, 2011), anti-inflamatória, antinociceptiva, gastroprotetora e larvívica (LIMA *et al.*, 2006). Seu óleo essencial (Figura 1B) se mostra uma fonte alternativa de agentes antimicrobianos naturais com o potencial para utilizar como conservante alimentar (MELO *et al.*, 2013).

O zebrafish (*Danio rerio*) também conhecido como “paulistinha” ou peixe-zebra é um pequeno peixe tropical de água doce originário do Rio Ganges e seus afluentes no norte da Índia, geralmente é encontrado no fundo da água para minimizar o ataque de

predadores (TEAME *et al.*, 2019). Nos últimos anos o zebrafish foi estabelecido como um modelo ideal para estudar a fisiopatologia de doenças relacionadas à inflamação humana e triagem *in vivo* de alto rendimento (SIVAMANI *et al.*, 2014). Portanto, o presente trabalho propõe o estudo circadiano, a avaliação da composição química e avaliação da segurança não clínica dos óleos essenciais de *Croton blanchetianus* (OECB) em Zebrafish (*Danio rerio*) adulto.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Obtenção dos óleos essenciais

Os óleos essenciais foram obtidos a partir das folhas do *C. blanchetianus* coletados nos horários de 6 h, 12 h e 17 h por hidrodestilação em aparelho do tipo Clevenger durante 2 h. Em seguida, os óleos essenciais foram coletados, armazenados em frascos de vidro, codificados como OECB 6 h, OECB 12 h e OECB 17 h e estocados em freezer a -18 °C.

### 2.2 Análise da composição química do óleo essencial

A análise da composição química dos óleos foi realizada por CG-EM em um instrumento Agilent modelo GC-7890B /MSD-5977A (quadrupolo), com impacto de elétrons a 70 eV e a identificação dos compostos foi realizada pela análise dos padrões de fragmentação exibidos nos espectros de massas com aqueles presentes na base de dados fornecidos pelo equipamento (NIST versão 2.0 de 2012-243.893 compostos), e de dados da literatura.

### 2.3 Zebrafish (*Danio rerio*) adulto (ZFa)

Animais zebrafish adulto (ZFa) com 60 a 90 dias ( $0,4 \pm 0,1$  g), selvagens, de ambos os sexos, foram obtidos de um fornecedor comercial (Fortaleza, CE). Os animais foram mantidos em aquário de vidro ( $n=5/L$ ), à temperatura de  $25 \pm 2$  °C, em ciclos de claro-escuro por 24 h. Água foi tratada com anticloro. Todos os procedimentos

experimentais foram aprovados pelo Comitê de Ética do Uso de Animais da Universidade Estadual do Ceará (CEUA-UECE) sob protocolo nº 200621/2020.

#### **2.4 Atividade locomotora (Teste de Campo Aberto)**

Os animais receberam aplicação das amostras e submetidos ao teste de campo aberto (MAGALHÃES *et al.*, 2017) para avaliar se houve alteração no sistema motor, seja por sedação e/ou relaxamento muscular. Os animais (n=6/grupo) foram tratados, via intraperitoneal, com OEGB 6h; OEGB 12h e OEGB 17h nas doses de 4; 20 e 40 mg/kg; 20 µL; i.p), e grupo com veículo (DMSO 3%). Um grupo de animais (n=6/grupo) sem tratamentos (Naive) foi incluso. Após 30 min dos tratamentos, os animais foram adicionados em placas de Petri (10 x 15 cm), contendo a mesma água do aquário, marcadas com quatro quadrantes e analisada a atividade locomotora através da contagem do número de cruzamento de linhas (CL). Usando o valor de CL do grupo Naive como linha de base (100%), foi calculada a porcentagem de cruzamentos de linha (CL%) individualmente durante 0-5 minutos.

#### **2.5 Toxicidade aguda 96 h**

O estudo da toxicidade aguda foi realizado frente ao zebrafish adulto de acordo com a Organização de Cooperação Econômica e Método Padrão de Desenvolvimento (OECD, 1992) para determinar a DL<sub>50</sub>-96h. A mortalidade foi controlada de 12 em 12 h após o início dos testes. Os animais (n=6/grupo) foram tratados, via intraperitoneal, com as mesmas amostras avaliadas no teste de campo aberto (4;20 e 40mg/kg; 20 µL; i.p), veículo (DMSO 3%). Após 96 h, foi anotado o número de peixes mortos em cada grupo e determinado a dose letal capaz de matar 50% dos animais (DL<sub>50</sub>) através do método matemático Trimmed Spearman-Kärber com intervalo de confiança de 95% (ARELLANO-AGUILAR *et al.*, 2015).

#### **2.6 Análise estatística**

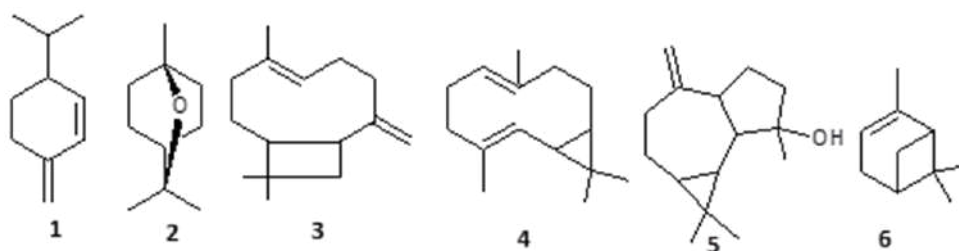
Os resultados foram expressos como valores da média  $\pm$  erro padrão da média para cada grupo de 6 animais. Depois de confirmar a normalidade de distribuição e homogeneidade dos dados, as diferenças entre os grupos foram submetidas à análise de variância (ANOVA unidirecional), seguido do teste de Tukey. Todas as análises foram realizadas com o software GraphPad Prism v. 5.01. O nível de significância estatística foi estabelecido em 5% ( $p < 0,05$ ).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Composição química dos óleos essenciais

A composição química dos óleos essenciais de *C. blanchetianus* revelou 23 constituintes para OECB 6h (89,56 %), 25 constituintes para OECB 12h (98,27 %), 16 constituintes para OECB 17h (100 %), onde, os componentes majoritários em comum em todos eles foram:  $\beta$ -felandreno (1), eucaliptol (2),  $\beta$ -cariofileno (3), biciclogermacreno (4), espatulenol (5) e  $\alpha$ -pineno (6) (Figura 3).

**Figura 3 – Fórmulas estruturais dos componentes majoritários dos óleos essenciais de *C. blanchetianus* (OECB 6h; OECB 12h e OECB 17h)**



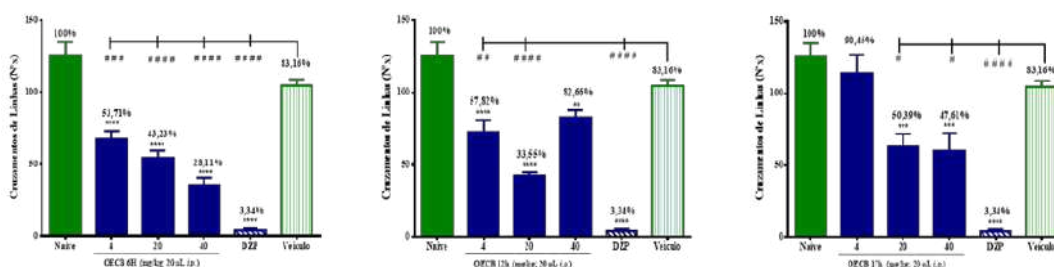
#### 3.2 Avaliação da atividade locomotora (Teste de Campo Aberto)

As 3 amostras de óleo essencial (OECB 6h; OECB 12h e OECB 17h) alteraram a locomoção dos animais em todas as doses avaliadas. No entanto, apenas a dose de 4mg/kg do OECB 17h não alterou o comportamento do zebrafish adulto. Os resultados mostram que as 3 amostras causaram comprometimento motor pois houve redução no número de cruzamento de linha na placa de petri pelos animais, resultado diferente do



controle negativo (naive) <math><0,0001</math>;

**Figura 4 – Efeito do OEGB 6h; OEGB 12h e OEGB 17h sob a atividade locomotora do zebrafish (*Danio rerio*) adulto no Teste de Campo Aberto (0-5min). Naive - animais não tratados. DZP – diazepam (40 mg/kg; 20  $\mu$ L; i.p.). Veículo – DMSO 3% (20  $\mu$ L; i.p.). Os valores representam a média  $\pm$  erro padrão da média (E.P.M.) para 6 animais/grupo. ANOVA seguida de Tukey  $p<0,0001$ ; e 0,1 vs. naive; ###  $p<0,0001$ ; ##  $p<0,01$  vs. Veículo). Os números acima de cada coluna indicam porcentagem de atividade locomotora (%AL)**



### 3.3 Toxicidade 96 h

No teste de toxicidade, o OEGB 6h; OEGB 12h e OEGB 17 h não foram tóxicas frente zebrafish até 96h de análise.

## 4 CONCLUSÕES

Baseado nos resultados obtidos, pôde-se concluir que as amostras de OEGB, obtidas em diferentes horários de coleta (6 h, 12 h e 17 h) não se mostraram tóxicas até 96h de análise no zebrafish adulto e alteraram o seu sistema locomotor. A eficácia das amostras de OEGB frente a zebrafish pode estar associada a algum efeito sinérgico dos componentes majoritários obtidos nos óleos essenciais.

## 5 AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à FUNCAP e CAPES pelo apoio financeiro para realização desta pesquisa.

## 6 REFERÊNCIAS

- ANGÉLICO, Elissandra Couras. **Avaliação das Atividades Antibacteriana e Antioxidante de *Croton heliotropiifolius* Kuntze e *Croton blanchetianus* Baill.** 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Centro de Saúde Tecnologia Rural, Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2011.
- ARELLANO-AGUILAR, O.; SOLIS-ANGELES, S., SERRANO-GARCÍA, L.; MORALES-SIERRA, E.; MENDEZ-SERRANO, A.; MONTERO-MONTOYA, R. Use of the zebrafish embryo toxicity test for risk assessment purpose: case study. **Journal of FisheriesSciences. com**, v. 9, n. 4, p. 52, 2015.
- CARTAXO, S. L.; DE ALMEIDA SOUZA, M. M.; DE ALBUQUERQUE, U. P. Medicinal plants with bioprospecting potential used in semi-arid northeastern Brazil. **Journal of ethnopharmacology**, v. 131, n. 2, p. 326-342, 2010.
- LIMA, M. G. A.; MAIA, I. C. C.; SOUSA, B. D. de; DE MORAIS, S. M.; FREITAS, S. M. Effect of stalk and leaf extracts from Euphorbiaceae species on *Aedes aegypti* (Diptera, Culicidae) larvae. **Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo**, v. 48, n. 4, p. 211-214, 2006.
- MAGALHÃES, F. E. A.; DE SOUSA, C. Á. P. B.; SANTOS, S. A. A. R.; MENEZES, R. B.; BATISTA, F. L. A.; ABREU, Â. O.; DE OLIVEIRA, M. V.; MOURA, L. F. W. G.; RAPOSO, R. da S.; CAMPOS, A. R. Adult zebrafish (*Danio rerio*): an alternative behavioral model of formalin-induced nociception. **Zebrafish**, v. 14, n. 5, p. 422-429, 2017.
- MELO, G. F. A.; COSTA, A. C. V. da; JUNIOR, F. G.; MEDEIROS, R. S.; MADRUGA, M. S.; NETO, V. Q. The sensitivity of bacterial foodborne pathogens to *Croton blanchetianus* Baill essential oil. **Brazilian journal of Microbiology**, v. 44, n. 4, p. 1189-1194, 2013.
- PEREIRA, Betânia de Pinho Veras. **Estudo dos constituintes químicos do óleo essencial de *Croton blanchetianus* presentes no Povoado Olho D'Água no Município de Parnaíba-PI.** 2017. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Química) – Campus Parnaíba, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Parnaíba, 2017.
- SIVAMANI, S.; JOSEPH, B.; KAR, B. Anti-inflammatory activity of *Withania somnifera* leaf extract in stainless steel implant induced inflammation in adult zebrafish. **Journal of Genetic Engineering and Biotechnology**, v. 12, n. 1, p. 1-6, 2014.
- TEAME, T.; ZHANG, Z.; RAN, C.; ZHANG, H.; YANG, Y.; DING, Q.; XIE, M.; GAO, C.; YE, Y.; DUAN, M.; ZHOU, Z. The use of zebrafish (*Danio rerio*) as biomedical models. **Animal Frontiers**, v. 9, n. 3, p. 68-77, 2019.

## **AVALIAÇÃO DO EFEITO ANSIOLÍTICO DO EXTRATO ETANÓLICO DAS FOLHAS DO *COMBRETUM LANCEOLATUM* EM ZEBRAFISH (*DANIO RERIO*) ADULTO**

**Camila S. Melo<sup>\*1</sup>, Antônio W. da Silva<sup>2</sup>, Cecília G. Lemos<sup>1</sup>, Hércio S. dos Santos<sup>3</sup>,  
Jane Eire S. A. de Menezes<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Curso de Licenciatura em Química, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciência e Tecnologia, \*e-mail: melo.silva@aluno.uece.br.

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Estadual do Ceará.

<sup>3</sup>Universidade Estadual Vale do Acaraú, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia.

<sup>4</sup>Laboratório de Química de Produtos Naturais, Universidade Estadual do Ceará.

**RESUMO:** A *Combretum lanceolatum* pertence a família Combretaceae. Onde foi preparado através de Braquehais *et al.* (2016) um extrato etanólico da folha desta planta. Os efeitos dos comportamentos dos peixes-zebra foram avaliados por meio de atividade ansiolítica tais como teste de claro-escuro, para detectar se tem bons resultados. O estresse também está envolvido com os transtornos de ansiedade. Os metabólitos secundários foram responsáveis pelas diversas atividades biológicas comprovadas nas pesquisas, como a atividade antimicrobiana, antioxidante e antitumoral (CHUNG *et al.*, 1992; GOLDBERG, 1996; SRIVASTAVA *et al.*, 2005; PETTITE *et al.*, 1987). Estudos demonstram uma diminuição nas defesas antioxidantes e uma produção aumentada de espécies reativas de oxigênio e nitrogênio em pacientes e em modelos animais de ansiedade. Os efeitos testados nos animais foram tratados com (EtFaC) (1,0, 5,0 e 10,0 mg/mL; 20 µL), veículo (DMSO 3%) (Controle; água destilada) e Diazepam (1,0 mg/mL;

20  $\mu$ L). Que resultou no aumento da concentração 5,0 e 10,0 mg/mL;  $p < 0,0001$  vs. Naive ou veículo.

**Palavras-chave:** Combretaceace. Ansiolítico. Claro-escuro.

**ABSTRACT:** Combretum lanceolatum family group is Combretaceace. Where it was prepared by Braquehais *et al.* (2016) an ethanolic extract from the leaf of this plant. The effects of zebrafish behaviors were evaluated using anxiolytic activity such as chiaroscuro test, to detect whether it has good results. Stress is also involved with anxiety disorders. Secondary metabolites were responsible for the various biological activities proven in research, such as antimicrobial, antioxidant and antitumor activity (CHUNG *et al.*, 1992; GOLDBERG, 1996; SRIVASTAVA *et al.*, 2005; PETTITE *et al.*, 1987). Studies demonstrate a decrease in antioxidant defenses and an increased production of reactive oxygen and nitrogen species in patients and animal models of anxiety. The effects tested on the animals were treated with (EtFaC) (1.0, 5.0 and 10.0 mg / mL; 20  $\mu$ L), vehicle (3% DMSO) (Control; distilled water) and Diazepam (1.0 mg / mL; 20  $\mu$ L). Which resulted in an increase in concentration of 5.0 and 10.0 mg / mL;  $p < 0.0001$  vs. Ship or vehicle.

**Keywords:** Combretaceace. Anxiolytic. Bright dark.

## 1 INTRODUÇÃO

As espécies do gênero *Combretum*, têm despertado interesse nas últimas décadas devido ao isolamento de alguns compostos com atividades bastante significativas em modelos anticancerígenos e anti-infecciosos, tornando-se um grupo muito importante para a pesquisa de compostos bioativos (GOSSAN *et al.*, 2016). *Combretum lanceolatum* Pohl ex Eichler pertence à família Combretaceae, com aproximadamente 500 espécies (STACE, 2010).

É conhecida popularmente como “pombeiro-vermelho”, ela se distribuiu do norte ao sudeste do Brasil, e é encontrado em vários domínios fitogeográficos, incluindo Amazônia, Pantanal, Caatinga, Cerrado e Mata Atlântica (MARQUETE; VALENTE,

2010). Tem característica de um arbusto de 2 m á 4 m de altura e pode ser encontrada á beira do rio, com folhas opostas ou alternas, simples, inteira, coberta por tricoma, flores verde-clara a amarelada e frutos elipsoides vináceos na fase jovem (LOIOLA *et al.*, 2009).

Estudos mostram que a ação ansiolítica e propriedades neurocomportamentais de combretáceas foram relatadas. O gênero *Combretum* demonstram a ocorrência de muitas classes de constituintes biologicamente ativos, incluindo flavonoides, triterpenoides lignanas, aminoácidos não proteicos (LIMA *et al.*, 2012).

O transtorno de ansiedade é um dos mais comuns transtornos mentais que existem (KESSLER *et al.* 2005; KADRI *et al.* 2007), podendo começar no início da vida e seguindo um curso crônico (ANTONY; STEIN, 2009). Portanto, este trabalho tem por objetivo investigar o efeito ansiolítico do extrato etanólico das folhas de *Combretum lanceolatum* utilizando o zebrafish como modelo animal.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Preparação dos extratos etanólicos

O extrato bruto foi obtido das folhas de *Combretum lanceolatum*, segundo metodologia descrita por Braquehais *et al.* (2016). Separadamente, as partes das plantas foram submetidas à secagem a temperatura ambiente ( $30 \pm 2$  °C), trituradas e submersas em etanol (70%) para extração exaustiva a frio por 96h. Em seguida, foram realizadas filtrações simples, sob condições assépticas, e após evaporação simples do solvente, em banho-maria a 50 °C, os extratos foram armazenados em geladeira (5 °C) até utilização.

### 2.2 Animais

Animais zebrafish adulto (ZFa) com 60 a 90 dias ( $0,4 \pm 0,1$  g), selvagens, de ambos os sexos, foram obtidos de um fornecedor comercial (Fortaleza, CE). Os animais foram mantidos em aquário de vidro ( $n= 5/L$ ), à temperatura de  $25 \pm 2$  °C, em ciclos de claro-escuro por 24 h. Água foi tratada com anticloro. Os bioensaios realizados estão de

acordo com os Princípios Éticos de Experimentação Animal e foram aprovados pelo Comitê de Ética para o Uso de Animais (CEUA) da Universidade Estadual do Ceará (#7210149/2016). Após os experimentos, os animais foram sacrificados por congelamento, imersos em água gelada (2-4 °C), por 10 min até perda de movimentos operculares (CONCEA, 2018).

### 2.3 Mecanismos de efeito ansiolítico-símile

O efeito ansiolítico-símile do extrato foi explorado no teste claro e escuro, o qual foi realizado num aquário de vidro (30 x 15 x 20 cm) com uma zona clara e uma escura. O aquário foi preenchido com 3 cm de água da torneira, pré -tratada com anticloro e livre de drogas (GEBAUER *et al.*, 2011). Os animais (n=6/grupo) foram tratados, via oral, com extrato etanólico das folhas de *C. lanceolatum* (EtFaC) (1,0, 5,0 e 10,0 mg/mL; 20 µL), veículo (DMSO 3%) (Controle; água destilada) e Diazepam (1,0 mg/mL; 20 µL). Um grupo de animais (n=6/grupo) sem tratamentos (Naive) foi incluso. Após 1 h dos tratamentos, os animais foram, individualmente, adicionados na zona clara do aquário e o efeito ansiolítico-símile foi quantificado como porcentagem de permanência na zona clara (%PZC), durante 5 minutos de análise.

### 2.4 Análises estatísticas

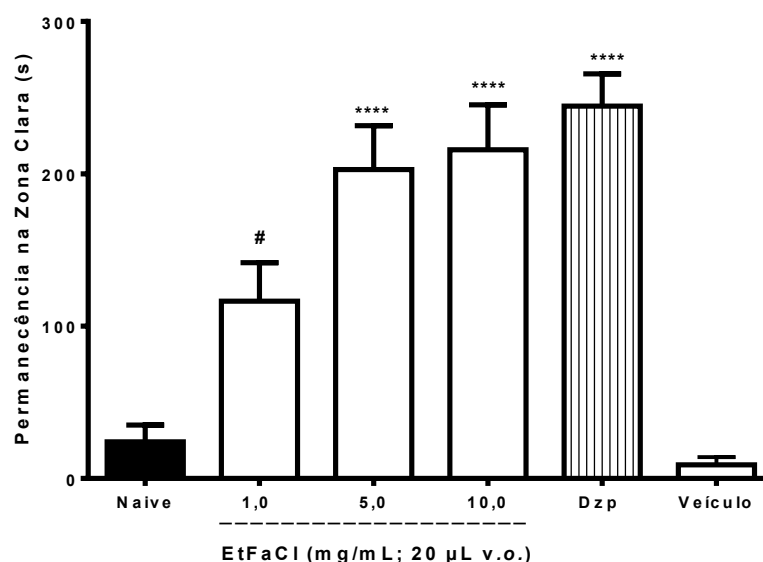
Os resultados foram expressos como média  $\pm$  desvio padrão da média para testes in vivo (n = 6 / grupo). Após confirmação da distribuição de normalidade e homogeneidade dos dados, as diferenças entre os grupos foram submetidas à análise de variância (ANOVA one-way), seguida do teste de Tukey, por meio do software GraphPad Prism 7.0. O nível de significância estatística considerado foi de 5% (p <0,05).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O EtFaCl apresentou ação ansiolítica-símile nas maiores concentrações (5,0

e 10,0 mg/mL;  $p < 0,0001$  vs. Naive ou veículo), pois os ZFas permaneceram mais tempo na região clara do aquário, significativamente ( $p > 0,05$ ) semelhante ao Diazepam, controle ansiolítico, Figura 1. Apenas a menor concentração não apresentou efeito ansiolítico ( $p < 0,05$  vs. Dzp).

**Figura 1 - Efeito ansiolítico-símile do extrato das folhas *C. lanceolatum* em zebrafish (*Danio rerio*) adulto no teste do claro e escuro (0-5min). Naive - animais não tratados. Veículo – DMSO 3% (20  $\mu$ L; v.o.). DZP – Diazepam (1,0 mg/mL; 20  $\mu$ L; v.o.). Os valores representam a média  $\pm$  erro padrão da média (E.P.M.) para 6 animais/grupo. ANOVA seguida de Tukey (\*\*\*\* $p < 0,0001$  vs. Naive ou Veículo; # $p < 0,05$  vs. DZP).**



#### 4 CONCLUSÕES

O presente estudo forneceu evidências de que o efeito ansiolítico-símile obtido de *C. lanceolatum* possuem efeitos sedativos nas doses maiores. Estudos subsequentes são necessários fazer para averificar possíveis mecanismos de ação dos extratos das folhas *C. lanceolatum* em zebrafish (*Danio rerio*) adulto.

## 5 AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à FUNCAP e CAPES pelo apoio financeiro para realização desta pesquisa.

## 6 REFERÊNCIAS

BRAQUEHAIS, I. D.; VASCONCELOS, F. R.; RIBEIRO, A. R. C.; DA SILVA, A. R. A.; DE LIMA, D. R.; FRANCA, M. G. A.; DE PAIVA, C. F.; GUEDES, M. I. F.; MAGALHAES, F. E. A. Estudo preliminar toxicológico, antibacteriano e fitoquímico do extrato etanólico das folhas de *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. (pinhão-bravo, Euphorbiaceae), coletada no Município de Tauá, Ceará, Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 18, n. 2, p. 582-587, 2016.

BRISSOW, Elson Rudimar. **Estudo químico e avaliação do potencial bioativo dos metabólitos especiais de fungos endofíticos isolados das raízes de *Combretum lanceolatum* Pohl ex Eichler**. 2015. 164 f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Cuiabá, 2015.

CONCEA. Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal. Resolução Normativa Nº 37, de 15 de fevereiro de 2018. Diretrizes da Prática de Eutanásia. **Diário Oficial da União**, n. 36, 22 fev. 2018. Seção 1, p. 5. Disponível em: [www.mctic.gov.br/.../concea/...normativas/RN-37-Eutanasia-secao-1-22\\_02\\_18.pdf](http://www.mctic.gov.br/.../concea/...normativas/RN-37-Eutanasia-secao-1-22_02_18.pdf). Acesso em: 22 abr. 18.

GEBAUER, D. L.; PAGNUSSAT, N.; PIATO, A. L.; SCHAEFER, I. C.; BONAN, C. D.; LARA, D. R. Effects of anxiolytics in zebrafish: similarities and differences between benzodiazepines, buspirone and ethanol. **Pharmacol Biochem Behavior**, v. 99, n. 3, p. 480-486, 2011.

LIMA, G. R de M.; SALES, I. R. P. de; FILHO, M. R. D. C; DE JESUS, N. Z. T.; FALCAO, H. D.; BARBOSA, J. M.; CABRAL, A. G. S.; SOUTO, A. L.; TAVARES, J. F.; BATISTA, L. M. Bioactivities of the genus *Combretum* (Combretaceae): A review. **Molecules**; v. 17, n. 8, p. 9142–206, 2012

REIS, Carlos Guilherme Rosa. **Efeito da N-Acetilcisteína-Amida sobre parâmetros comportamentais e bioquímicos em peixes-zebra**. 2019. 44 f. Dissertação (Mestrado em Neurociências) - Pós-graduação em Neurociências, Instituto de Ciências Básicas da Saúde, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

SOUSA, V. F.; RIBEIRO, T. R. M.; LOIOLA, M. I. B.; VERSIEUX, L. M. *Combretaceae* of Rio Grande do Norte state, Brasil. **Rodriguésia**, v. 69, n.4, p. 1771-1787, 2018.



**AVALIAÇÃO *IN VITRO* DA ATIVIDADE FOTOPROTETORA DE *BRYOPHYLLUM LAETIVIRENS* (DESC.) V.V.BYALT**

**Nádia A. P. Pinheiro\*<sup>1</sup>, Amanda M. B. Alvez<sup>1</sup>, Alissa E. Q. R. Campos<sup>2</sup>, Milena L. Furtado<sup>2</sup>, Alessandro S. Lima<sup>2</sup>, Sônia M. C. Siqueira<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, \*e-mail: nadia.portela@aluno.uece.br.

<sup>2</sup>Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia.

**RESUMO:** Nesta pesquisa buscou-se avaliar o fator de proteção solar *in vitro* (FPS) de *B. laetivirens*, identificar seus metabolitos secundários e quantificar os teores de fenóis totais e flavonoides pelos métodos Folin-Ciocalteu e cloreto de alumínio, respectivamente. O FPS calculado pelo método espectrofotométrico foi 3,42 para a maior concentração testada. Os resultados obtidos no estudo fitoquímico apresentaram os seguintes metabolitos secundários: fenóis, flavonóis, flavonas, flavonóis, flavonononas, xantonas e alcaloides. Os teores de fenóis totais e flavonoides foram de  $166,66 \pm 0,8$  mg EqAG/g e  $37,50 \pm 0,07$  mg EqC/g, respectivamente.

**Palavras-Chave:** Fator de Proteção Solar. Estudo Fitoquímico. *Bryophyllum laetivirens*.

**ABSTRACT:** In this research, we sought to evaluate the *in vitro* sun protection factor (SPF) of *B. laetivirens*, identify its secondary metabolites and quantify the levels of total phenols and flavonoids by the Folin-Ciocalteu and aluminum chloride methods, respectively. The SPF calculated by the spectrophotometric method was 3.42 for the

highest concentration tested. The results obtained in the phytochemical study showed the following secondary metabolites: phenols, flavonols, flavones, flavonoids, flavonones, xanthenes and alkaloids. The levels of total phenols and flavonoids were  $166.66 \pm 0.8$  mg EqAG / g and  $37.50 \pm 0.07$  mg EqC / g, respectively.

**Keywords:** Solar Protection Factor. Phytochemical study. *Bryophyllum laetivirens*.

## 1 INTRODUÇÃO

A radiação ultravioleta contribui para o desenvolvimento de ambas as formas de câncer da pele: melanoma e não-melanoma. O câncer não-melanoma está associado à acumulação de energia fornecida pelos raios solares no tecido, e o melanoma, a queimaduras solares causadas por exposição inadequada e momentânea aos raios UV (CUMMINGS *et al.*, 1997). De acordo com o Instituto Nacional de Câncer (2019) datam-se 180 mil pessoas acometidas pelo câncer de pele entre o biênio de 2018-2019, correspondente a 33% dos diagnósticos estabelecidos no Brasil.

Devido a importância do uso de protetores solares, têm-se realizado vários estudos para investigar a capacidade de fotoproteção de extratos vegetais (SOUZA *et al.*, 2005; GUPTA, 2013). Muitos desses extratos apresentam compostos com atividade fotoprotetora ou sinérgica em associação com filtros solares (SOUZA *et al.*, 2013). Segundo Oliveira e Almeida (2012), o interesse por filtros solares naturais é crescente visto que apresentam menores efeitos colaterais e agressividade ao meio ambiente, além de possuírem substâncias cromóforas e fotoprotetoras.

A diversidade de plantas cultivadas no Brasil permite encontrar novos compostos fotoprotetores de origem natural. A *Bryophyllum laetivirens* (Desc.) V.V.Byalt, também conhecida como *Kalanchoe laetivirens* Descoings, faz parte do gênero de plantas suculentas *Kalanchoe* (sinônimo *Bryophyllum*) e é utilizada na medicina tradicional para a diminuição da febre, cura do câncer, anti-inflamatório e cicatrizante (COSTA *et al.*, 2008; ALVES; POVH; PORTUGUEZ, 2019).

Considerando que a *B. laetivirens* não apresenta relatos na literatura que comprovem cientificamente seu uso popular em diversas patologias, justifica-se um maior interesse em estudar essa espécie no que diz respeito a sua constituição química e

atividades biológicas, visando a descoberta de novos fármacos ou bioprodutos. Dessa forma, este trabalho teve como objetivos realizar uma triagem fitoquímica e avaliar a atividade fotoprotetora *in vitro* do extrato etanólico das folhas de *B. laetivirens*.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Preparação dos extratos etanólicos

As folhas da *B. laetivirens* depois de secas foram pesadas, trituradas e embebidas em etanol 96% (v/v) durante quinze dias. Logo após os dias corridos, foram filtradas e colocadas em um evaporador a vácuo rotativo e submetidas a banho-maria para retirada completa do solvente.

### 2.2 Prospecção fitoquímica

A identificação de classes de metabólitos secundários foi realizada seguindo a metodologia descrita por Matos (2009). Pequenas porções do extrato foram dissolvidas com 5 a 10 mL de etanol 70% em tubos de ensaio para realização das análises colorimétricas com formação de precipitados.

### 2.3 Quantificação de fenóis totais

Foi feito pelo método de Folin-Ciocalteu (SOUSA *et al.*, 2007). Dissolveu-se 7,5 mg do extrato em MeOH, completado para 25 mL. Agitou-se uma alíquota de 100 $\mu$ L com 500  $\mu$ L de Folin-Ciocalteu por 30 segundos, acrescentando 6 mL de água destilada e 2mL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> a 15%. Agitou-se por 1 min e depois completado para 10 mL com água destilada. A absorbância das amostras em 750 nm foi determinada após 2 h. Como padrão utilizou-se o ácido gálico. O teste foi feito em triplicata. A curva de calibração utilizada foi  $y = 0,0013x - 0,018$ .

## 2.4 Quantificação de flavonoides totais

Foi feito pelo método de Funari e Ferro (2006). Foi preparado uma solução com 20 mg da amostra em 10 mL de etanol. Misturou-se uma alíquota de 2 mL com 1 mL de  $\text{AlCl}_3$  a 2,5% e foi completado para 25 mL com etanol. Após 30 min determinou-se a absorvância da amostra a 425 nm. Como padrão utilizou-se a quercetina. O teste foi feito em triplicata. A curva de calibração utilizada foi  $y = 0,04215x - 0,0118$ .

## 2.5 Determinação do fator de proteção solar

Para esse teste, após a pesagem de 0,125 g foram preparadas soluções de extrato etanólico nas concentrações de 5, 25, 50, 100 e 250 ppm. As absorvâncias das amostras foram determinadas em diferentes comprimentos de onda (290 a 320 nm), com intervalos de 5 em 5 nm. Foram usadas cubetas de quartzo e o etanol foi usado como branco. O teste foi realizado em triplicata. O fator de proteção solar foi calculado seguindo a Equação 1 de Mansur e colaboradores (1986):

$$\text{FPS} = \text{CF} \times 290 \int_{290}^{320} \text{EE}(\lambda) \times \text{I}(\lambda) \times \text{Abs}(\lambda) \quad (1)$$

onde: EE – Espectro de efeito eritemogênico; I – espectro de intensidade solar; Abs – absorvância da amostra; CF – fator de correção (=10).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Prospecção fitoquímica

A prospecção fitoquímica do extrato etanólico das folhas de *B. laetivirens* indicou a presença de fenóis, flavonóis, flavonas, flavononóis, flavonononas, xantonas e alcaloides. De acordo com França (2017), a caracterização fitoquímica de diversos extratos vegetais é dependente de diversos fatores, como as características do

solo, método de obtenção do extrato, fatores fenológicos, variações fisiológicas sazonais e ainda variações climáticas.

### 3.2 Quantificação de fenóis totais e flavonóides

*B. laetivirens* apresentou elevado teor de fenóis totais ( $166,66 \pm 0,8$  mg EqAG/g) e o teor de flavonoides foi equivalente a  $37,5 \pm 0,07$  mg EqC/g. Resultados ainda maiores foram encontrados por Asiedu-Gyekye *et al.* (2012) ao determinarem os fenóis totais de espécies do mesmo gênero (*K. pinnata* e *K. integra*, 242 mg/g e 340 mg/g, respectivamente). Os mesmos autores encontraram resultados de flavonoides semelhantes ao estudarem *K. pinnata* (32,0 mg/g) e *K. integra* (42,0 mg/g,  $p > 0,05$ ). Devido às condições de solo e desenvolvimento, o grupo de gênero *Kalanchoe* se classifica por ser uma espécie rica em teor de flavonoides (PINHEIRO, 2017), que são considerados marcadores biológicos do gênero (CRUZ *et al.*, 2012).

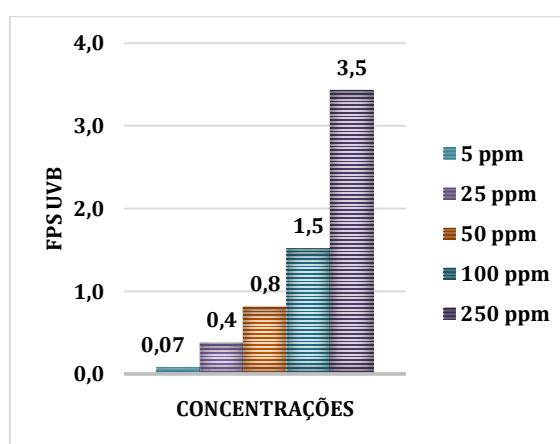
### 3.3. Determinação do fator de proteção solar do extrato etanólico de *B. laetivirens*

O espectro de absorção do extrato de *B. laetivirens* apresentou pico máximo de absorção em 265 nm, que apesar de estar na faixa de UVC, há possibilidade de seu uso como filtro solar em formulações fotoprotetoras nas regiões de UVA e UVB. Inúmeras pesquisas elucidaram que as plantas que absorvem na região ultravioleta apresentam em sua composição complexa, diferentes moléculas, destacando-se metabólitos secundários como flavonoides, taninos, antraquinonas, alcalóides e os polifenóis (SOUZA *et al.*, 2005; ZUANAZI, 2000).

Nas concentrações utilizadas para teste, *B. laetivirens* apresentou um valor de FPS próximo a 3,5 para maior concentração testada (Figura 1). Logo, não poderá ser utilizado como protetor solar, pois o fator mínimo de proteção é de  $FPS \geq 6$  (ANVISA, 2012). Entretanto, pode ser usado nas formulações como adjuvante aos filtros sintéticos, atuando sinergicamente na ação fotoprotetora, o que traria múltiplos benefícios, uma vez que a junção desse extrato com outro protetor solar protegeria a pele da ação dos radicais livres que eventualmente poderiam ser gerados devido a radiação solar e também

acrescentaria FPS a formulação.

**Figura 1 - Fator de proteção solar do extrato etanólico de *B. laetivirens***



Fonte: Elaborado pelos autores

#### 4 CONCLUSÕES

*B. laetivirens* apresentou importantes classes fitoquímicas como fenóis e flavanóides que são associados ao combate de diversas doenças causadas pelo estresse oxidativo, motivando assim a realizações de estudos mais aprofundados e isolamentos destes constituintes na colaboração de formulação de fitofármacos. Apesar da espécie não ter apresentado FPS  $\geq 6$ , mínimo permitido pelo Ministério da Saúde, esse material apresentou potencial na proteção contra os raios UV, podendo ser utilizado como adjuvante dos sistemas de bloqueadores que auxiliam a proteção aos raios UV, protegendo a pele de danos oxidativos ocasionados pela exposição a essa radiação. Entretanto, vale ressaltar que estudos mais avançados precisam ser realizados.

#### 5 REFERÊNCIAS

ALVES, K. C. H.; POVH, J. A.; PORTUGUEZ, A. P. Etnobotânica de plantas ritualísticas na prática religiosa de matriz africana no município de Ituiutaba, Minas Gerais. **Ethnoscientia**, v. 4, n. 1, p. 1-10, 2019.

ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Regulamento Técnico Mercosul sobre Protetores Solares em Cosméticos – RDC 30 de 1º de junho de 2012. **Diário Oficial da União**, jun. 2012. Seção 1, p. 83.

ASIEDU-GYEKYE, I. J.; ANTWI, D. A.; BUGYEI, K. A.; AWORTWE, C. Comparative study of two kalanchoe species: total flavonoid, phenolic contents and antioxidante properties. **African Journal of Pure and Applied Chemistry**, v. 6, n. 5, p. 65-73, 2012.

COSTA, S. S.; MUZITANO, M. F.; CAMARGO, L. M. M.; COUTINHO, M. A. S. Therapeutic Potential of Kalanchoe Species: Flavonoids and other Secondary Metabolites. **Natural Product Communications**, v. 3, n.12, p. 2151 – 2164, 2008.

CRUZ, B. P.; CHEDIER, L. M.; PEIXOTO, P. H. P.; FABRI, R. L.; PIMENTA, D. S. Effects of light intensity on the distribution of anthocyanins in *Kalanchoe brasiliensis* Camb. and *Kalanchoe pinnata* (Lamk.) Pers. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 84, n. 1, p. 211-218, 2012.

CUMMINGS, S. R.; TRIPP, M. K.; HERRMANN, N. B. Approaches to the prevention and control of skin cancer. **Cancer and Metastasis Reviews**, v. 16, n. 3-4, p. 309- 327, 1997.

DUTRA, E. A.; OLIVEIRA, D. A. G. D. C.; KEDOR-HACKMANN, E. R.; SANTORO, M. I. R. M. Determination of sun protection factor (SPF) of sunscreens by ultravioleta spectrophotometry. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 40, n. 3, p. 381-385, 2004.

FRANÇA, F. V. Estudo fitoquímico e atividade antioxidante de extrato etanólico de *Genipa americana*. **Revista Mundi Saúde e Biológicas**, v. 2, n. 2, p. 1-12, 2017.

FUNARI, C. S.; FERRO, V. O. Análise de propolis. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 26, n.1, p.171-178, 2006.

GUPTA, D. UV absorbing properties of some plant derived extracts. **Journal of Chemical and Environmental Sciences**, v. 1, n. 2, p. 34-36, 2013.

INCA. **Câncer de pele representa cerca de 30% dos tumores malignos do País**. Página modificada em 8 jan. 2019. Disponível em: <https://www.sbmt.org.br/portal/skin-cancer-responds-to-around-30-of-all-malignant-tumors-in-the-country/&gt;>. Acesso em: 01 mar. 2020.

MANSUR, J. S.; BREDER, M. N. R.; MANSUR, M. C. A.; AZULAY, R. D. Determinação do fator de proteção solar por espectrofotometria. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, v.61, p.121-124, 1986.

MATOS F. J. **Introdução à fitoquímica experimental**. 3 ed. Fortaleza: Edições UFC, 2009. 141 p.

OLIVEIRA, R. G. J; ALMEIDA, J. R. G. S. Prospecção tecnológica de fotoprotetores

derivados de produtos naturais. **Revista GEINTEC**, v. 3, n. 1, p. 32-40, 2012.

PINHEIRO, H. S.; GIACOMIN, L. L.; REIS, I. M. S.; BARATTO, L. C. Avaliação do desenvolvimento e da produção de flavonoides de *Kalanchoe pinnata* (Lam.) Pers. (Crassulaceae) em diferentes condições de luz e nutrição. **Filos**, v. 10, n. 4, p. 404-416, 2017.

SOUSA, C. M.; SILVA, H. R.; VIEIRA-JUNIOR, G. M.; AYRES, M. C. C.; DA COSTA, C. L. S.; ARAÚJO, D. S.; CAVALCANTE, L. C. D.; BARROS, E. D. S.; ARAÚJO, P. B. de M.; BRANDÃO, M. S.; CHAVES, M. H. Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. **Química nova**, v. 30, n. 2, p. 351-355, 2007.

SOUZA, F. P.; CAMPOS, G. R.; PACKER, J. F. Determinação da atividade fotoprotetora e antioxidante em emulsões contendo extrato de *Malpighia glabra* L. - Acerola. **Revista Ciências Farmacêutica Básica Aplicada**, v. 34, n. 1, p. 69-77, 2013

SOUZA, T. M.; SANTOS, L. E.; MOREIRA, R. R. D.; RANGEL, V. L. B. I. Avaliação da atividade fotoprotetora de *Achillea millefolium* L. (Asteraceae). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 15, n. 1, p. 36-38, 2005.

ZUANAZZI, J. A. S. Flavonóides. In SIMOES, C. M. O, GUERRA, M. P. *et al.* (Orgs.). **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. 5 ed. Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 1096 p., 2004.



**CHALCONA (E)-3-(2- FLUOROFENIL) -1-(2-HIDROXI-3,4,6-TRIMETOXIFENIL)  
PROP-2-EN-1-ONA REVERTE COMPORTAMENTO CONVULSIVO EM ZEBRAFISH  
(*DANIO RERIO*) ADULTO**

**Maria K. A. Ferreira<sup>1\*</sup>, Paulo N. Bandeira<sup>2</sup>, Hécio S. dos Santos<sup>2</sup>, Francisco E. A.  
Magalhães<sup>3</sup>, Jane Eire S. A. de Menezes<sup>4</sup>**

<sup>1\*</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciência e Tecnologia, \*e-mail: kueirislene@hotmail.com.

<sup>2</sup>Universidade Estadual Vale do Acaraú, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia.

<sup>3</sup>Laboratório de Química de Produtos Naturais, Síntese e Biocatálise de Compostos Orgânicos-LBPNSB.

<sup>4</sup>Laboratório de Química de Produtos Naturais, Universidade Estadual do Ceará.

**RESUMO:** O comportamento convulsivo é manifestado por convulsões causadas por atividade elétrica anormal dos neurônios do SNC. Chalconas são flavonoides de cadeia aberta distribuídas no reino vegetal. O objetivo deste trabalho foi investigar o efeito anticonvulsivante da chalcona 2- flúor em zebrafish adulto. Os animais foram tratados com a chalcona 2-Flúor (4; 20 e 40 mg/kg); veículo (DMSO 3%;) e (DZP; 40 mg/kg). Após 30 min, foram expostos, individualmente na solução de (PTZ; 7,5 mM). Três estágios da convulsão foram analisados. Todas as doses da chalcona 2-flúor aumentaram o tempo de latência para o primeiro estágio da convulsão em ZFa. No estágio 2 as mesmas doses aumentaram o tempo de latência para comportamento convulsivo e no estágio III a maior dose (40 mg/kg) foi capaz de aumentar a latência para o início da crise convulsiva. A metilação dos flavonoides, assim como a presença dos 3 substituintes metóxi (-OCH<sub>3</sub>) da chalcona 2-flúor sugere melhor potencialização do efeito anticonvulsivo, pois facilita a absorção e afeta positivamente sua biodisponibilidade.

**Palavras-chave:** Flavonoides. Epilepsia. GABA<sub>A</sub>.

**ABSTRACT:** Seizure behavior is manifested by seizures caused by abnormal electrical activity of CNS neurons. Chalcones are open-chain flavonoids distributed in the plant kingdom. The objective of this work was to investigate the anticonvulsant effect of chalcone 2-fluoride in adult zebrafish. The animals were treated with chalcone 2-Fluorine (4; 20 and 40 mg / kg); vehicle (3% DMSO;) and (DZP; 40 mg / kg). After 30 min, they were individually exposed in the (PTZ; 7.5 mM) solution. Three stages of the seizure were analyzed. All doses of chalcone 2-fluorine increased the latency time for the first stage of the ZFa seizure. In stage 2, the same doses increased the latency time for convulsive behavior and in stage III the highest dose (40 mg / kg) was able to increase the latency for the onset of the seizure. Methylation of flavonoids, as well as the presence of the 3 methoxy substituents (-OCH<sub>3</sub>) of chalcone 2-fluorine suggests better potentiation of the anticonvulsant effect, as it facilitates absorption and positively affects its bioavailability.

**Keywords:** Flavonoids. Epilepsy. GABAA.

## 1 INTRODUÇÃO

A epilepsia é um distúrbio neurológico que afeta aproximadamente 65 milhões de pessoas em todo o mundo (MOSHÉ *et al.*, 2015). O comportamento convulsivo é manifestado por convulsões repetitivas causadas por atividade elétrica anormal dos neurônios. Os anticonvulsivantes (ASDs) atualmente disponíveis, usados no tratamento para a epilepsia, suprimem os sintomas da doença (convulsões), mas não aliviam o processo de epileptogênese (PERUCCA *et al.*, 2019).

As chalconas são consideradas flavonoides de cadeia aberta distribuídas no reino vegetal, são produtos intermediários e finais na biossíntese de flavonoides, considerados importantes na pigmentação de flores. Possui função atrativa para polinização, além de desempenharem ação contra patógenos e insetos e apesar da sua ocorrência em plantas, podem ser sintetizadas também em laboratório (BATOVSKA; TODOROVA, 2010). São características básicas desta a abertura de um terceiro anel, presentes nas classes de flavonoides, o que torna possível a formação de uma ligação

dupla com os carbonos denominados  $\alpha$  e  $\beta$  na função carbonila (VENTURELLI *et al.*, 2016).

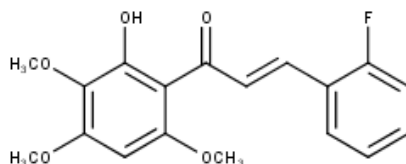
Modelos farmacológicos são usados para triagem de alto rendimento de novos compostos para o tratamento de convulsões, o modelo mais comumente usado é o ensaio de convulsão induzida por pentilenotetrazol (PTZ), em que convulsões semelhantes a tônico-clônicas estão correlacionadas com hiperlocomoção nas larvas peixe-zebra (COPMANS *et al.*, 2018; GAWEL *et al.*, 2020). Portanto, como essa classe de compostos são conhecidas por apresentar atividade de eliminação de radicais livres e o estresse oxidativo estar envolvido no início na progressão da epileptogênese Diniz *et al.* (2015), o objetivo deste trabalho foi investigar o efeito anticonvulsivante da chalcona (E)-3-(2- fluorofenil) -1-(2-hidroxi-3,4,6-trimetoxifenil) prop-2-en-1-ona em zebrafish adulto.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Obtenção da amostra

A chalcona (E)-3-(2- fluorofenil) -1-(2-hidroxi-3,4,6-trimetoxifenil) prop-2-en-1-ona (2-flúor) foi sintetizada com base na metodologia de (FERREIRA *et al.*, 2019), a partir de um produto natural.

**Figura 1 - Estrutura química da chalcona 2-Flúor**



Fonte: Elaborado pelos autores.

### 2.2 Animais e Comitê de ética

Foram utilizados zebrafish (*Danio rerio*) adultos (ZFa), selvagens, ambos os

sexos com idade de 60-90 dias, tamanhos de  $3,5 \pm 0,5$  cm e peso  $0,4 \pm 0,1$  g, obtidos da Agroquímica: Comércio de Produtos Veterinários LTDA, um fornecedor em Fortaleza (Ceará, Brasil). Todos os procedimentos experimentais foram aprovados pelo Comitê de Ética do Uso de Animais da Universidade Estadual do Ceará (CEUA-UECE), sob protocolo nº 7210149/2016.

### 2.3 Atividade anticonvulsivante

Os animais ( $n=6$ /grupo) foram tratados com 20  $\mu$ L via intraperitoneal com 2-Flúor (4 ou 20 ou 40 mg/kg) ou veículo (DMSO 3%; 20  $\mu$ L) ou Diazepam (DZP; 40 mg/kg). Após 30 min dos tratamentos via intraperitoneal, os animais foram expostos, individualmente, a solução de pentilenotetrazol (PTZ; 7,5 mM). O comportamento do tipo convulsivo foi analisado por observadores treinados e as cegas, medido em segundos, e classificado de acordo com os estágios: Estágio I – atividade de natação drasticamente aumentada; Estágio II – natação em redemoínhos; Estágio III – convulsões semelhantes a clônus, seguida de perda de postura, quando o animal cai para o lado e permanece imóvel por 1-3 s (SIEBEL *et al.*, 2015).

### 2.4 Análise estatística

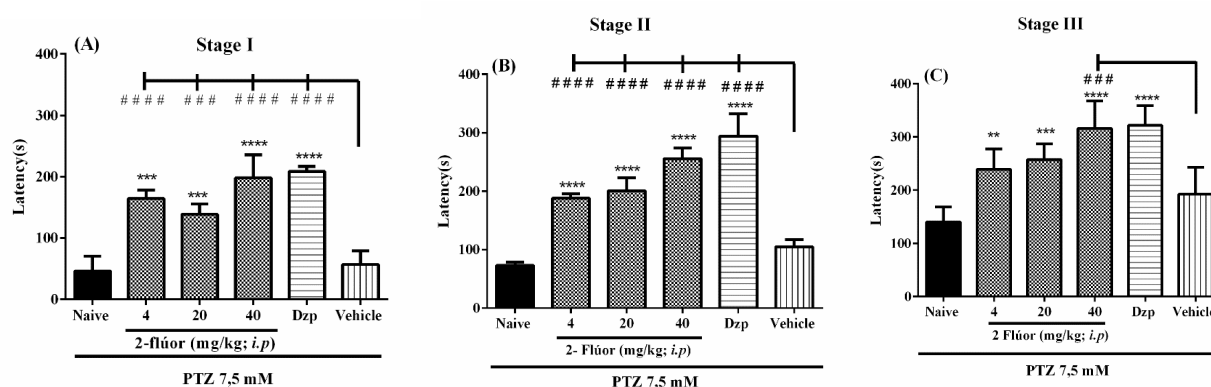
Os resultados foram expressos como valores da média  $\pm$  erro padrão da média para cada grupo de 6 animais. Depois de confirmar a normalidade de distribuição e homogeneidade dos dados, as diferenças entre os grupos foram submetidas à análise de variância (ANOVA unidirecional), seguido do teste de Tukey. Todas as análises foram realizadas com o software GraphPad Prism v. 6.0. O nível de significância estatística foi estabelecido em 5% ( $p < 0,05$ ).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Todas as doses da chalcona 2-flúor (Figura 2A) aumentaram significativamente ( $p < 0,001$ ;  $p < 0,0001$  vs. Naive ou veículo) o tempo de latência para o primeiro estágio da

convulsão em ZFa Figura 2. No estágio 2 as mesmas doses aumentaram significativamente ( $p < 0,0001$  vs. Naive ou veículo) o tempo de latência para comportamento convulsivo referente a este estágio. Em seguida foi observado que no estágio III a maior dose (40 mg/kg) foi capaz de aumentar a latência para o início da crise convulsiva. Esses efeitos anticonvulsivante da chalcona 2-flúor foram significativamente ( $p > 0,05$ ) semelhantes ao efeito do DZP (40 mg/kg).

**Figura 2 - Efeito da chalcona 2-Flúor sob ação do Estágio Convulsivante I, II e III induzido por PTZ em zebrafish (*Danio rerio*) adulto. DZP – diazepam (Controle; 40 mg/kg; 20  $\mu$ L; i.p.). ANOVA seguida do Teste Tukey (\*\* $p < 0.01$ ; \*\*\* $p < 0.001$ ; \*\*\*\* $p < 0.0001$  vs. Naive; # # # $p < 0.0001$  # # # $p < 0.0001$  vs Veículo)**



Fonte: Elaborado pelos autores.

O pentilenotetrazol é um convulsivante que atua alostericamente no receptor GABA<sub>A</sub> e já está bem documentado que convulsões induzidas por PTZ são produzidas devido à alteração do nível de GABA no cérebro. Portanto, os receptores GABA<sub>A</sub> estão envolvidos na epilepsia e sua ativação direta corresponde a um efeito antiepilético (MAHENDRAN *et al.*, 2014).

As chalconas são subclasses de compostos flavonoides, estes que são conhecidos por exercerem efeitos anti-inflamatórios potentes no cérebro por meio da atividade de eliminação de radicais livres (DINIZ *et al.*, 2015), ou pela modulação direta de componentes-chave da cascata neuro inflamatória. Consequentemente, esta atividade neuro protetora pode ser considerada para explicar o efeito anticonvulsivante

desses compostos Spencer *et al.* (2012); Golechha *et al.* (2014); Diniz *et al.* (2015); Lin *et al.* (2015) assim como o efeito da chalcona 2-flúor investigada neste trabalho.

No aspecto estrutural da molécula, como pode ser visto na Figura 1, a estrutura química da chalcona 2-flúor possui 3 substituintes metóxi (-OCH<sub>3</sub>). Em atribuição a isto, ao investigar a atividade anticonvulsivante de flavonoides metilados pelo modelo de convulsão induzida por PTZ em larvas de peixe-zebra, Copmans *et al.* (2018) observou que flavonóides não metilados como NRG (naringenina) e KFL (kaempferol) tiveram apenas atividade anticonvulsiva limitada e a metilação de NRGs (formando naringenina 7-O-metil éter (NRG-M), e naringenina 40,7-éter dimetílico (NRG-DM)), tiveram um claro impacto no resultado mostrando melhor efeito anticonvulsivo.

Assim como os compostos metilados anteriores, nossos resultados mostram que a chalcona 2-flúor teve efeito anticonvulsivo em todos os estágios da convulsão. Diante disso, os autores perceberam que a metilação dos flavonoides favorece sua estabilidade metabólica e transporte de membrana, onde facilita a absorção e afeta positivamente sua biodisponibilidade (KOIRALA, 2016).

#### **4 CONCLUSÃO**

Nossos achados são considerados relevantes porque, embora mais pesquisas sejam necessárias para elucidar os alvos moleculares anticonvulsivantes da chalcona 2-flúor, esses resultados em concordância com a literatura, indicam que a metilação de flavonóides produz um espectro farmacológico distinto que pode ser particularmente relevante na descoberta de novas drogas anticonvulsivantes.

#### **5 AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a Universidade Estadual do Ceará, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- CAPES e Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico- FUNCAP.

#### **6 REFERÊNCIAS**

BATOVSKA, D.; TODOROVA, I. Trends in Utilization of the Pharmacological Potential of Chalcones. **Current Clinical Pharmacology**, v. 5, n. 1, p. 1-29, 2010.

COPMANS, D.; ORELLANA-PAUCAR, A. M.; STEURS, G.; ZHANG, Y.; NY, A.; FOUBERT, K.; EXARCHOU, V.; SIEKIERSKA, A.; KIM, Y.; DE BORGGRAEVE, W.; DEHAEN, W.; PIETERS, L.; DE WITTE, P. A. Methylated flavonoids as anti-seizure agents: Naringenin 4',7-dimethyl ether attenuates epileptic seizures in zebrafish and mouse models. **Neurochemistry International**, v. 112, p. 124–133, 2018.

DINIZ, T. C.; SILVA, J. C.; LIMA-SARAIVA, S. R. G. de, ALMEIDA, F. P. R. de; PACHECO, A. G. M.; de FREITAS, R. M.; QUINTANS-JÚNIOR, L. J.; QUINTANS, J. de S. S.; MENDES, R. L.; ALMEIDA, J. R. G.; ROMERO, F. J. da S. The role of flavonoids on oxidative stress in epilepsy. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, v. 2015, p. 1-9, 2015.

FERREIRA, M. K. A.; da SILVA, A. W.; SILVA, F. C. O.; HOLANDA, C. L. A.; BARROSO, S. M.; LIMA, J. dos R.; VIEIRA NETO, A. E.; CAMPOS, A. R.; BANDEIRA, P. N.; DOS SANTOS, H. S.; DE LEMOS, T. L. G.; SIQUEIRA, S. M. C.; MAGALHÃES, F. E. A.; DE MENEZES, J. E. S. A. Anxiolytic-like effect of chalcone N-((4'-(E)-3-(4-fluorophenyl)-1-(phenyl) prop-2-en-1-one)) acetamide on adult zebrafish (*Danio rerio*): Involvement of the GABAergic system. **Behavioural Brain Research**, v. 374, p. 1-6, 2019.

GAWEL, K.; KUKULA-KOCH, W.; NIEOCZYM, D.; STEPNIK, K.; VAN DER ENT, W.; BANONO, N. S.; TARABASZ, D.; TURSKI, W. A.; ESGUERRA, C. V. The Influence of Palmatine Isolated from *Berberis sibirica* Radix on Pentylentetrazole-Induced Seizures in Zebrafish. **Cells**, v. 9, n. 5, p. 1-24, 2020.

GOLECHHA, M.; SARANGAL, V.; BHATIA, J.; CHAUDHRY, U.; SALUJA, D.; ARYA, D. S. Naringin ameliorates pentylentetrazol-induced seizures and associated oxidative stress, inflammation, and cognitive impairment in rats: Possible mechanisms of neuroprotection. **Epilepsy and Behavior**, v. 41, p.98-102, 2014.

MAHENDRAN, G.; THAMOTHARAN, G.; SENGOTTUVELU, S.; NARMATHA BAI, V. Evaluation of anticonvulsant, sedative, anxiolytic, and phytochemical profile of the methanol extract from the aerial parts of *swertia corymbosa* (Griseb.) wight ex C.B. Clarke. **BioMed Research International**, v. 2014, p. 1-9, 2014.

MOSHÉ, S. L.; PERUCCA, E.; RYVLIN, P.; TOMSON, T. Epilepsy: New advances. **The Lancet Neurology**, v. 385, n. 9971, p. 884–898, 2015.

PERUCCA, P.; GILLIAM, F. G. Adverse effects of antiepileptic drugs. **The Lancet Neurology**, v. 11, n. 9, p. 792–802, 2019.

SIEBEL, A. M.; MENEZES, F. P.; CAPIOTTI, K. M.; KIST, L. W.; SCHAEFER, I. da C.; FRANTZ, J. Z.; BOGO, M. R.; DA SILVA, R. S.; BONAN, C. D. Role of adenosine signaling on pentylentetrazole-induced seizures in zebrafish. **Zebrafish**, v. 12, n. 2, p. 127–136, 2015.

VENTURELLI, S.; BURKARD, M.; BIENDL, M.; LAUER, U. M.; FRANK, J.; BUSCH, C.

Prenylated chalcones and flavonoids for the prevention and treatment of cancer. *Nutrition*, v. 32, n. 11–12, p. 1171–1178, 2016.

## COMPARAÇÃO ENTRE TECNOLOGIAS DE RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Gustavo de L. Olivo\*<sup>1</sup>, Maria C. Rizk<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências e Tecnologia, \*e-mail: gustavo.olivo@unesp.br.

**RESUMO:** O presente estudo trata de uma análise do potencial de recuperação energética de resíduos sólidos urbanos (RSU) e sua consequente redução nas emissões de gases de efeito estufa (GEE). Para o estudo, considerou-se uma produção diária de 330 toneladas de RSU e estimou-se a geração de energia elétrica pela incineração e pela recuperação de metano em aterro sanitário. A geração estimada de metano foi obtida por meio do modelo LandGEM 3.02 e o PCI dos RSU foi calculado por meio da lei de Dulong-Petit. As emissões de GEE foram estimadas de acordo com a metodologia proposta pela UNFCCC (2018). Os resultados mostraram que a incineração dos RSU geraria 77.500 MWh.ano<sup>-1</sup> de eletricidade e evitaria a emissão de 22.250 t CO<sub>2</sub>.ano<sup>-1</sup>. A recuperação de metano de aterro geraria 23.500 MWh.ano<sup>-1</sup> de eletricidade e evitaria a emissão de 12.500 t CO<sub>2</sub>.ano<sup>-1</sup>. Assim, em termos de recuperação energética, a incineração foi mais vantajosa, porém a escolha de tecnologias envolve, além de questões técnicas relativas à eficiência do processo, questões ambientais, sociais, políticas e econômicas.

**Palavras-chave:** Energia. Incineração. Metano.

**ABSTRACT:** The present study is an analysis of the potential for energy recovery of municipal solid waste (MSW) and its consequent reduction in greenhouse gases (GHG) emissions. For the study, a daily production of 330 tons of MSW was considered and the generation of electric energy was evaluated through the incineration and methane



recovery of a landfill. Methane generation was obtained using the LandGEM 3.02 model and the MSW LCV was calculated using the Dulong-Petit law. GHG emissions were estimated using the methodology proposed by UNFCCC (2018). Results showed that incineration would generate 77.500 MWh.year<sup>-1</sup> of electricity and avoid the emission of 22.250 t CO<sub>2</sub>.year<sup>-1</sup>. Methane recovery would generate 23.500 MWh.year<sup>-1</sup> of electricity and avoid the emission of 12.500 t CO<sub>2</sub>.year<sup>-1</sup>. Thus, in terms of energy recovery, incineration was more advantageous, however the choice of technologies involves, in addition to technical issues related to efficiency of the process, environmental, social, political and economic issues.

**Keywords:** Energy. Incineration. Methane.

## 1 INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) prevê a recuperação energética como uma alternativa para a destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos. Dentre as tecnologias de recuperação energética de resíduos sólidos urbanos (RSU), destacam-se a recuperação de metano dos aterros sanitários e a incineração.

A recuperação energética é prevista ainda na Política Nacional sobre Mudanças do Clima (BRASIL, 2008) como estratégia para redução das emissões nacionais de gases de efeito estufa (GEE), uma vez que contribui para a correta gestão dos resíduos sólidos e ainda produz energia considerada renovável.

Dentre as principais barreiras apontadas para viabilidade técnico-econômica da implementação de tecnologias de recuperação energética estão os custos de instalação e operação, a baixa quantidade de resíduo a ser tratado em cidades de médio e pequeno porte e a composição gravimétrica do resíduo (BARROS, 2014). Parte destas dificuldades podem ser superadas a partir dos ganhos de escala e maior poder de negociação propiciados pela formação de consórcios intermunicipais, que precisam solucionar regionalmente os problemas referentes aos RSU, podendo considerar a opção de aproveitar a energia contida nos resíduos como alternativa para o problema, sendo,

para isso, de fundamental importância conhecer a potencialidade de geração de energia, bem como avaliar a possibilidade de reduzir os impactos ambientais decorrentes dos tratamentos escolhidos.

Deste modo, o objetivo do presente trabalho foi estimar o potencial energético teórico proveniente do metano produzido no aterramento de RSU e da incineração de RSU e comparar os ganhos energéticos obtidos em cada tecnologia, bem como quantificar as emissões evitadas de gases do efeito estufa em cada tecnologia.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A produção de metano no aterramento de RSU foi estimada por meio do modelo LandGEM 3.02 (EPA, 2005), considerando-se o aterramento de 330 t.dia<sup>-1</sup> de RSU com poder calorífico inferior (PCI) de 2.480 kcal.kg<sup>-1</sup>, estimado por meio da lei de Dulong-Petit (POLI *et al.*, 2012). A incineração também levou em consideração a combustão de 330 t.dia<sup>-1</sup> de RSU com PCI de 2.480 kcal.kg<sup>-1</sup>. A geração de energia elétrica pela recuperação de metano e pelo incinerador foi calculada, respectivamente, pelas Equações 1 e 2 abaixo:

$$E_{dm} = Q_x \times P_{cm} \times E_c \times E_{mm} \times h_x \times 10^{-3} \div 31\,536\,000 \quad (1)$$

$$E_{di} = G_i \times \frac{PCI}{240} \times E_{mi} \times h_{\%} \times 0,28 \quad (2)$$

Em que:  $E_{dm}$  = Energia elétrica disponível pela queima de metano (MWh),  $Q_x$  = Produção anual de metano estimado pelo modelo LandGEM (m<sup>3</sup>.ano<sup>-1</sup>),  $P_{cm}$  = Poder calorífico do metano (35,530 kJ.m<sup>-3</sup> de metano),  $E_c$  = Eficiência de coleta de gases (%),  $E_{mm}$  = Eficiência do motor de combustão de metano (%),  $h_d$  = tempo de funcionamento do motor em um ano (h), 31 536 000 = segundos em um ano,  $E_{gi}$  = Energia elétrica disponível pela incineração (MWh),  $G_i$  = Quantidade de resíduo incinerado (t.ano<sup>-1</sup>), PCI = poder calorífico dos resíduos (kcal.kg<sup>-1</sup>),  $E_{mi}$  = Eficiência de conversão energética (%),  $h_{\%}$  = tempo de funcionamento de um incinerador (% de um ano).

As emissões evitadas de CO<sub>2</sub> equivalente foram calculadas segundo metodologia proposta por UNFCCC (2018). Para o incinerador, foram consideradas ainda

as emissões de CO<sub>2</sub> oriundas da queima de plástico e que, portanto, seriam emissões não neutras de GEE. Para tanto, considerou-se que os filtros do incinerador seriam capazes de reter 90% das emissões de CO<sub>2</sub> (CHANDEL *et al.*, 2012).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos.

**Tabela 1 - Geração estimada de energia e de emissões evitadas**

Tecnologia	Geração média estimada de energia elétrica (MWh.ano <sup>-1</sup> )	Emissão média estimada evitada de CO <sub>2</sub> (tCO <sub>2</sub> .ano <sup>-1</sup> )
Incineração	77.500	22.250
Recuperação de metano	23.500	12.500

Os resultados apresentados são compatíveis com outros estudos de recuperação energética como os apresentados por EPE (2014) e Dalmo *et al.* (2019), mas como foram baseados em dados teóricos, necessitam de investigação mais aprofundada para que sejam validados. Dentre as limitações dos modelos está a não incorporação da variação temporal da gravimetria e da quantidade gerada de resíduos, o que pode influenciar positiva ou negativamente a geração de energia. O modelo LandGEM, por exemplo, apresenta variáveis previamente estipuladas, o que pode induzir a superestimções ou subestimções da quantidade de metano gerado.

Na incineração, a quantidade de energia gerada é proporcional à quantidade de resíduo incinerado, respeitados os limites da unidade de processamento de resíduos. Na recuperação de metano, porém, existe um aumento do volume de metano disponível ao longo do tempo de vida útil do aterro e uma vez que o mesmo é encerrado, os volumes caem drasticamente. A incineração mostrou um maior poder de recuperação energética dos RSU e conseqüentemente maior redução nas emissões de CO<sub>2</sub>. A incineração é uma técnica de rápida eliminação da massa e volume de resíduos, porém, o custo de instalação e manutenção de um incinerador é elevado. Dentre as preocupações concernentes à incineração, destaca-se a poluição atmosférica. Para garantir que os

efluentes gasosos atendam à legislação vigente, são necessários modernos sistemas de tratamento de gases o que contribui para o alto investimento necessário. Existe também a necessidade de uma vigilância constante e eficaz destes sistemas de tratamento, uma vez que a combustão de resíduos, como, por exemplo na incineração, pode liberar substâncias tóxicas como as dioxinas e furanos, colocando em risco a saúde e bem-estar de trabalhadores e população local.

Quanto à recuperação de metano de aterro sanitário, destaca-se a necessidade de coleta e tratamento do mesmo. Em geral, aterros planejados para fazer a recuperação de metano apresentam eficiência de coleta superior em comparação com aterros que adotaram a recuperação energética após sua construção.

A purificação do metano para recuperação energética dependerá da forma de aproveitamento a ser adotado, mas, em geral, a queima industrial e a combustão para geração de energia elétrica demandam tratamentos simples, apenas para ajuste da umidade e das concentrações de CO<sub>2</sub> e remoção de gases sulfurados. A necessidade de se ajustar o gás bruto às condições especificadas para recuperação energética, dentre outros fatores, introduzem custos de instalação e operação que, associados a grande variação temporal na disponibilidade de gás, podem inviabilizar economicamente recuperação energética do metano. Como o carbono presente nas moléculas de metano é oriundo de material biológico que foi fixado por meio de atividade fotossintetizante, as emissões de CO<sub>2</sub> resultantes da combustão de metano são consideradas neutras.

Além do exposto, cabe apontar que o estudo também permitiu refletir que a recuperação energética dos RSU não é uma alternativa que exclui a necessidade de se pensar em estratégias de não geração, redução, reutilização e reciclagem de resíduos, mas sim apresenta-se como tecnologia complementar para a gestão de resíduos sólidos.

#### **4 CONCLUSÕES**

A incineração mostrou-se como uma tecnologia com maior poder de recuperação energética e maior redução das emissões de CO<sub>2</sub>, mesmo não sendo uma tecnologia neutra em carbono. A escolha de uma tecnologia de recuperação energética de resíduos sólidos urbanos passa por questões não somente técnicas referentes à

quantidade de energia produzida ou de redução de GEE, mas também deve levar em consideração aspectos econômicos, ambientais, culturais e políticos, dentre outros, para sua implantação e operação, aspectos estes que precisam ser avaliados detalhadamente antes da tomada de decisões para implantação de tecnologias de tratamento/recuperação energética de resíduos sólidos urbanos.

## 5 AGRADECIMENTOS

Ao PIBIC/UNESP, processo 143351/2019-2, pelo apoio financeiro.

## 6 REFERÊNCIAS

BARROS, R. M.; TIAGO FILHO, G. L.; SILVA, T. R. da. The electric energy potential of landfill biogas in Brazil. **Energy Policy**, v. 65, p. 150-164, 2014.

BRASIL. Comitê Interministerial sobre Mudança do Clima. **Plano Nacional Sobre Mudança do Clima**. Brasília: SMCQ, 2008.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 147, 3 ago. 2010. Seção 1, p.3.

CHANDEL, M. K.; KWOK, G.; JACKSON, R. B.; PRATSON, L. F. The potential of waste-to-energy in reducing GHG emissions. **Carbon Management**, v. 3, n. 2, p. 133-144, 2012.

DALMO, F. C.; SIMÃO, N. M.; LIMA, H. Q. de; JIMENEZ, A. C. M.; NEBRA, S.; MARTINS, G.; PALACIOS-BERECHÉ, R.; SANT'ANA, P. H. de M. Energy recovery overview of municipal solid waste in São Paulo State, Brazil. **Journal of cleaner production**, v. 212, p. 461-474, 2019.

EPA – United States Environmental Protection Agency. **Landfill Gas Emissions Model (LandGEM) Version 3.02 User's Guide**. Washington, 2005. 56 p.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. **Inventário energético dos resíduos sólidos urbanos**. Rio de Janeiro: EPE, 2014.

POLI, D. C. R.; ZANCHETA, M. N.; BOARI, Z. M.; MELDONIAN, N. L.; DE MOURA, C. L.; JIURGIU, P. A. Uma avaliação das metodologias para determinação do poder calorífico dos resíduos sólidos urbanos. **Revista de Ciências Exatas e Tecnologia**, v. 8, n. 8, p. 9-31, 2014.

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. **Methodological tool: Tool to calculate the emission factor for an electricity system**. v. 7, 2018.

## DIGESTÃO ANAERÓBICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS: UMA REVISÃO DO ESTADO DA ARTE

Marcos B. Figueredo\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Modelagem e Simulação de Biosistemas, Universidade do Estado da Bahia, Departamento de Ciências Exatas e da Terra II, \*e-mail: mbfigueredo@uneb.br.

**RESUMO:** O descarte e acúmulo de resíduos orgânicos sólidos urbanos (RSU) poderá atingir níveis críticos em quase todas as regiões do mundo. Esses resíduos orgânicos devem ser tratados de maneira que evite o esgotamento dos recursos naturais e assim minimizar os riscos de perda do equilíbrio de ecossistemas. Vários métodos são atualmente aplicados ao tratamento e gestão de RSU. Esta revisão tem por objetivo focar o processo de digestão anaeróbia, considerado uma das opções mais viáveis para a reciclagem de pequenas quantidades de matéria orgânica. Este trabalho fornece uma visão geral do processo, suas vantagens e desvantagens na produção de (biogás). A literatura consagra que o envolvimento de uma mix de microrganismos e os efeitos de co-substratos e fatores ambientais na eficiência do processo foi abordado de forma abrangente. Indicando assim que a digestão anaeróbia pode ser uma opção atraente para a conversão de resíduos orgânicos sólidos brutos em produtos úteis, como biogás e outros compostos ricos em energia, que podem desempenhar um papel crítico no atendimento às necessidades cada vez maiores de energia do mundo no futuro.

**Palavras-chave:** Digestão anaeróbia. Resíduos orgânicos sólidos urbanos. Biodigestor.

**ABSTRACT:** The disposal and accumulation of urban solid organic waste (MSW) could reach critical levels in almost all regions of the world. These organic residues must be treated in a way that avoids the depletion of natural resources and thus minimizes the risks of loss of ecosystem balance. Several methods are currently applied to the treatment

and management of MSW. This review aims to focus on the process of anaerobic digestion, considered one of the most viable options for recycling small amounts of organic matter. This work provides an overview of the process, its advantages and disadvantages in the production of (biogas). The literature establishes that the involvement of a mix of microorganisms and the effects of co-substrates and environmental factors on the efficiency of the process has been comprehensively addressed. Thus, indicating that anaerobic digestion can be an attractive option for converting raw solid organic waste into useful products, such as biogas and other energy-rich compounds, which can play a critical role in meeting the world's growing energy needs in the world. future.

**Keywords:** Anaerobic digestion. Urban solid organic waste. Biodigestor.

## 1 INTRODUÇÃO

A poluição ambiental e uma crescente aceleração na redução dos recursos energéticos criou a necessidade pela busca por energias limpas e renováveis (HAGMAN *et al.*, 2018; ORJUELA *et al.*, 2019). A biomassa é um importante recurso renovável que pode substituir os combustíveis fósseis (PAOLINI *et al.*, 2018). Nesta linha e pensando que em 2019, a geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) do Brasil foi de cerca de 79 milhões de t, correspondendo a 380kg por pessoa ano (ABRELPE, 2018, 2019), a produção de biogás a partir de RSU tem várias vantagens (BALAT; BALAT, 2009).

Maior produção de energia, menor impacto ambiental e requisitos de investimento estão entre as vantagens (HENGEVELD *et al.*, 2020). O biogás é uma mistura inflamável quando a concentração do bi metano é superior a 40%. É produzida por meio de um processo que envolve quatro etapas, 1. hidrólise; 2. acetogênese; 3. acetogênese; 4. metanogênese por meio de um consórcio microbiano contendo diferentes tipos de bactérias (AL-RUBAYE *et al.*, 2019).

A hidrólise da matéria orgânica é realizada por diferentes bactérias, incluindo os gêneros *Clostridium*, *Cellulomonas*, *Bacillus*, *Thermomonospora*, *Ruminococcus*, *Bacteriodes*, *Acetovibrio* e *Microbispora*. *Lactobacillus*, *Streptococcus*, *Bacillus* e *Escherichia* são os principais responsáveis pela acidogênese. Na acetogênese,

diferentes gêneros, incluindo *Acetobacterium*, *Syntrophomonas*, *Clostridium*, *Sporomusa*, *Syntrophospora*, *Thermosyntropha* e *Eubacterium*, estão envolvidos. Uma série de arqueobactérias, incluindo *Methanococcus*, *Methanosarcina* e *Methanlobus*, são responsáveis pela metanogênese (PAMPILLÓN-GONZÁLEZ *et al.*, 2017). Este consórcio microbiano precisa de condições específicas para a produção ideal de biogás, ou seja, pH na faixa de 6-7.5 e temperatura na faixa de 35-55° C (ACHINAS; ACHINAS; EUVERINK, 2017).

Os três principais recursos para a produção de biogás incluem resíduos lignocelulósicos, águas residuais domésticas e urbanas e águas residuais industriais (ACHINAS; ACHINAS; EUVERINK, 2017). Quando esses resíduos são lançados no meio ambiente sem um método de destinação adequado, pode haver poluição ambiental e impactos nocivos. Esses resíduos não tratados criam problemas diferentes com as mudanças climáticas, aumentando um número de gases de efeito estufa (HENGEVELD *et al.*, 2020).

Existem vários métodos disponíveis para o tratamento de RSU, mas a digestão anaeróbia parece ser uma abordagem promissora (ZHANG *et al.*, 2014). A digestão anaeróbia de resíduos orgânicos em aterros sanitários libera os gases metano e dióxido de carbono que escapam para a atmosfera e poluem o meio ambiente (HENGEVELD *et al.*, 2020). Sob condições controladas, o mesmo processo tem o potencial de fornecer produtos úteis, como biocombustível e aditivo orgânico (condicionador do solo) e o sistema de tratamento não requer suprimento de oxigênio (CHOONG; CHOU; NORLI, 2018).

Além disso, o metano e o hidrogênio como combustíveis potenciais são considerados comparativamente mais limpos do que os combustíveis fósseis e tem a vantagem de não depender de combustível fóssil para o consumo de energia. Assim, a digestão anaeróbia representa uma oportunidade para diminuir a poluição ambiental e, ao mesmo tempo, fornece biogás e fertilizante orgânico ou material de transporte para bio-fertilizantes (MEDEIROS; AMORIM; GIROTTO, 2017). Nesta revisão, vamos nos concentrar no estudo da obtenção do biogás através da digestão anaeróbia pensando no mesmo como fonte de energia renovável e como matéria-prima para a produção de outros combustíveis.



## 2 DIGESTÃO ANAERÓBIA

A digestão anaeróbia de resíduos orgânicos é um processo pelo qual quase todos os resíduos orgânicos podem ser biologicamente transformados em outra forma, na ausência de oxigênio. A partir da matéria orgânica, forma-se uma mistura gasosa que consiste em 50-75% de metano e 25-50% de dióxido de carbono. Existem também pequenas quantidades de hidrogênio, sulfeto de hidrogênio, amônia e outros gases residuais no biogás (BANU; KANNAH, 2019).

O processo de produção do biogás consiste em quatro reações bioquímicas realizadas por diferentes grupos de microrganismos, ocorrendo simultaneamente em um processo de uma etapa, são elas hidrólise: A primeira reação é a liquefação. Compostos orgânicos de cadeia longa (gorduras, proteínas) são divididos e decompostos em compostos orgânicos simples (aminoácidos, açúcares) por enzimas liberadas por bactérias. Acidogênese: Os produtos da hidrólise são convertidos em ácidos orgânicos por bactérias formadoras de ácido. Também são formados acetato, hidrogênio e dióxido de carbono, que são usados como substâncias iniciais para a formação do metano. Acetogênese: Ácidos orgânicos e álcoois são convertidos em ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono por bactérias acetogênicas. É importante que o hidrogênio produzido seja consumido pelos microrganismos metanogênicos, pois o excesso de hidrogênio inibe a formação de ácido acético. Metanogênese: Os produtos das reações anteriores são convertidos em metano, dióxido de carbono e água por microrganismos metanogênicos (WELLINGER; MURPHY; BAXTER, 2013; CHENG, 2017).

A digestão anaeróbica é aplicável a uma ampla gama de resíduos. Além disso, este processo tem algumas vantagens sobre o processo aeróbio devido a uma baixa necessidade de energia para operação e uma baixa produção de biomassa (ANGELIDAKI; ELLEGAARD; AHRING, 2003), é considerada uma tecnologia viável no tratamento competente de resíduos orgânicos e na produção simultânea de uma energia renovável (BANU; KANNAH, 2019). A digestão anaeróbia de resíduos orgânicos também é uma tecnologia ambientalmente útil, tanto Singh e Basak (2018) como Kumar e Samadder (2020) descreveu os benefícios desse processo para reduzir a poluição

ambiental de duas maneiras principais: o ambiente vedado do processo impede a saída de metano para a atmosfera, enquanto a queima do metano irá liberar dióxido de carbono neutro em carbono (sem efeito líquido na atmosfera dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa).

Por outro lado, o processo anaeróbico apresenta algumas desvantagens, como longos tempos de retenção e baixa eficiência de remocação de compostos orgânicos. Outro problema se refere a eficiência, ainda não existem novas tecnologias para simplificar o processo, deixá-lo abundante e de baixo custo (KARIYAMA; ZHAI; WU, 2018). Após o refinamento e compressão, o biogás ainda contém impurezas. Se o biocombustível gerado for utilizado para movimentar automóveis, ele pode corroer as partes metálicas do motor. Essa corrosão levaria ao aumento dos custos de manutenção. A mistura gasosa é muito mais adequada para fogões de cozinha, caldeiras de água e lâmpadas (KORBAG *et al.*, 2020).

### 3 A CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA

A co-digestão anaeróbia (AcoD) pode ser considerada como a digestão instantânea de dois ou mais substratos e misturas de co-substratos (NGHIEM *et al.*, 2017). A AcoD também pode ser chamadas de “co-fermentação”. A utilização da AcoD de diferentes materiais orgânicos num biodigestor pode aumentar a estabilidade do processo anaeróbico devido a um melhor equilíbrio de carbono para nitrogênio (C/N) (AL-ADDOUS *et al.*, 2019) o que acelera a biodegradação de resíduos orgânicos sólidos por meio da bioestimulação. De acordo com Hagos *et al.* (2017) a co-digestão pode, além disso, aliviar o efeito inibitório de concentrações elevadas de amoníaco e sulfeto.

A co-digestão anaeróbica de resíduos de lodos com resíduos de frutas, vegetais e alimentos é uma tecnologia promissora, oferecendo muitas vantagens, incluindo um balanço de relação C/N, inibição de amônia e alta produção de biogás, otimizando o desempenho da digestão anaeróbia e recuperação de biogás, já bem utilizada na China, Índia, Siri Lanka entre outros (KHAYUM; ANBARASU; MURUGAN, 2018). O uso de um co-substratos com um resíduo de baixo teor de nitrogênio e lipídios aumenta a produção de biogás devido as características complementares de ambos os

tipos de resíduo, reduzindo assim os problemas associados ao acúmulo de compostos voláteis intermediários e altas concentrações de amônia (MAO *et al.*, 2017a).

#### 4 O BIORREATOR ANAERÓBIO

Os biorreatores anaeróbios têm aplicação potencial para digestão de resíduos orgânicos sólidos e são capazes de reduzir a carga ambiental em comparação, por exemplo, com aterros sanitários convencionais, (JI *et al.*, 2020). Pesquisas observaram que a modelagem do biorreator exerce forte influência no seu desempenho (PRAJAPATI; SINGH, 2018), e assim uma variedade de biorreatores foram desenvolvidos nos últimos anos (CLERCQ; WEN; FEI, 2019).

De acordo com Sadino-Riquelme *et al.* (2018) e Paul *et al.* (2020), a modelagem de um biorreator anaeróbico apresenta uma descrição correta das condições de mistura ali presente e se faz necessária para representar o processo adequadamente. Isso é especialmente verdadeiro para instalações em escala real, uma vez que a influência das condições hidrodinâmicas no comportamento geral depende da escala. Porém ressaltam que a modelagem assume condições de mistura perfeitas, ou seja, homogeneidade da mídia.

Vários tipos de biorreatores estão atualmente em uso, se incluem aqui os reatores tipo batelada, que são os mais simples, enchidos com a matéria-prima e deixados por um período que pode ser considerado o tempo de retenção hidráulica, após o qual são esvaziados (PIEBER *et al.*, 2018). São úteis porque podem realizar uma digestão rápida com equipamentos simples e baratos, e também são úteis para avaliar a taxa de digestão facilmente (JARAMILLO *et al.*, 2018). Por outro lado, tem algumas limitações, como altas flutuações na produção de gás, bem como na qualidade do gás, perdas de biogás durante o esvaziamento dos biorreatores e alturas restritas do biorreator (ABUABDOU *et al.*, 2020). O segundo tipo de biorreatores é conhecido como sistemas de alimentação contínua de um estágio, onde todas as reações bioquímicas ocorrem em um biorreator (HANS; KUMAR, 2019). O terceiro tipo de biorreatores são sistemas de dois ou múltiplos estágios alimentados continuamente, nos quais vários processos bioquímicos, como hidrólise, acidificação, acetogênese e metanogênese

ocorrem separadamente (HANS; KUMAR, 2019; ALGAPANI *et al.*, 2019).

A digestão anaeróbia de material orgânico é um processo complexo, envolvendo uma série de diferentes etapas de degradação (SHAHIDUL *et al.*, 2018). Segundo Tong *et al.* (2018) os microrganismos que participam do processo podem ser específicos para cada etapa de degradação e, portanto, podem ter requisitos ambientais diferentes. O envolvimento de uma gama diversificada de microrganismos e os efeitos de co-substratos e fatores ambientais na eficiência do processo foi abordado de forma abrangente, destacamos neste trabalho a temperatura, pH, umidade, substrato e nitrogênio.

A temperatura tem diferentes efeitos na digestão anaeróbia de várias biomassas, o que pode trazer mudanças e efeitos significativos na comunidade microbiana, cinética e estabilidade do processo e rendimento de metano (PHUTTARO *et al.*, 2019). As temperaturas mais baixas durante o processo são conhecidas por diminuir o crescimento microbiano, as taxas de utilização do substrato e a produção de biogás (KUMAR; SAMADDER, 2020). Além disso, temperaturas mais baixas também podem resultar em esgotamento da energia celular, vazamento de substâncias intracelulares ou lise completa (HANS; KUMAR, 2019). Em contraste, as altas temperaturas reduzem o rendimento do biogás devido à produção de gases voláteis, como a amônia, que suprime as atividades metanogênicas (PAUL *et al.*, 2020).

Geralmente, a digestão anaeróbia é realizada em temperaturas mesofílicas. A operação na faixa mesofílica é mais estável e requer menor gasto de energia (ZOU *et al.*, 2020). No geral, uma faixa de temperatura entre 35-37 °C é considerada adequada para a produção de metano e uma mudança de temperatura mesofílica para termofílica pode causar uma queda acentuada na produção de biogás até que as populações necessárias aumentem em número (LIU *et al.*, 2018).

O efeito do potencial hidrogeniônico (pH), no processo se manifesta diretamente afetando a atividade enzimática ou indiretamente, afetando a toxicidade de diversos compostos (RAVI *et al.*, 2018), mas o pH ideal para metanogênese foi encontrado em torno de 7,0, (MAO *et al.*, 2017). Guštin e Marinšek-Logar (2011) relataram uma faixa muito estreita de pH adequado (7,0-7,2) em 18 experimentos realizados com águas residuais. Da mesma forma, Ravi *et al.* (2018) observou que uma

faixa de pH de 6,8-7,2 era ideal para a digestão anaeróbia. Os trabalhos de Carotenuto *et al.* (2016) e Eryildiz, Lukitawesa e Taherzadeh (2020) mostraram que a faixa de pH mais favorável para atingir o rendimento máximo de biogás na digestão anaeróbia é 6,5-7,5.

Teores de umidade elevados geralmente facilitam a digestão anaeróbia (FUJISHIMA; MIYAHARA; NOIKE, 2000), no entanto, no estudo de Lay, Li e Noike (1997) já se identificou a dificuldade em se manter a disponibilidade de água ao longo do ciclo de digestão. Inicialmente, a água adicionada em alta taxa é reduzida a um certo nível mais baixo à medida que o processo de digestão anaeróbia prossegue (LEUNG; WANG, 2016). O alto teor de água pode afetar o desempenho do processo, dissolvendo matéria orgânica facilmente degradável. Foi relatado que as maiores taxas de produção de metano ocorrem em 60-80% de umidade (LIU *et al.*, 2007).

A taxa de digestão anaeróbia é fortemente afetada pelo tipo, disponibilidade e complexidade do substrato (ABUABDOU *et al.*, 2020; HENGVELD *et al.*, 2020; PAUL *et al.*, 2020). Diferentes tipos de fontes de carbono suportam diferentes grupos de micróbios (AL-ADDOUS *et al.*, 2019). Antes de iniciar um processo de digestão, o substrato pode ser caracterizado quanto ao conteúdo de carboidratos, lipídios, proteínas e fibras (ALGAPANI *et al.*, 2019). Além disso, o substrato também deve ser caracterizado quanto à quantidade de metano que pode ser potencialmente produzida em condições anaeróbias (BANU; KANNAH, 2019; CLERCQ; WEN; FEI, 2019).

Os carboidratos são considerados o componente orgânico mais importante dos resíduos sólidos urbanos para a produção de biogás (PAUL *et al.*, 2020). No entanto, o amido pode atuar como um substrato de baixo custo eficaz para a produção de biogás em comparação com a sacarose e a glicose (KUMAR; SAMADDER, 2020; PARSAAE; KIANI; KARIMI, 2019). Segundo Choong, Chou e Norli (2018) e Phuttaro *et al.* (2019), foi observado que a concentração inicial e o conteúdo sólido total do substrato no biorreator podem afetar significativamente o desempenho do processo e a quantidade de metano produzida durante o processo (KARIYAMA; ZHAI; WU, 2018).

O nitrogênio é essencial para a síntese de proteínas e requerido principalmente como nutriente pelos microrganismos na digestão anaeróbica (TANIMU *et al.*, 2014). Os compostos nitrogenados nos resíduos orgânicos são geralmente

proteínas que são convertidas em amônio por digestão anaeróbia. Na forma de amônia, o nitrogênio contribui para a estabilização do valor do pH do biorreator onde o processo está ocorrendo (CLERCQ; WEN; FEI, 2019). A amônia em alta concentração pode levar à inibição do processo biológico e inibe a metanogênese em concentrações que excedem aproximadamente 100 mM (ERYILDIZ; LUKITAWESA; TAHERZADEH, 2020). Kumar e Samadder (2020) observam que a quantidade de amônia no digestor também pode afetar a produção de hidrogênio e a remocação de sólidos voláteis.

## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho de revisão indica que a digestão anaeróbia é um dos processos biológicos eficazes para tratar uma ampla variedade de resíduos orgânicos sólidos e lodo. As principais vantagens desta tecnologia incluem (i) resíduos orgânicos com baixo teor de nutrientes podem ser degradados por co-digestão com diferentes substratos nos biorreatores anaeróbios, e (ii) o processo leva simultaneamente à produção de biogás que pode ser aplicado a residências ou locais remotos, o que pode ser vital para atender as necessidades futuras de energia. No entanto, diferentes fatores, como: substrato e composição e qualidade do co-substrato, fatores ambientais (temperatura, pH, taxa de carga orgânica) e a dinâmica microbiana contribuem para a eficiência ou derrocada do processo de digestão anaeróbica e devem ser otimizados para atingir benefício máximo possível desta tecnologia em termos de produção de energia e gestão de resíduos orgânicos.

## 6 REFERÊNCIAS

ABRELPE, E. A. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo: Grappa, 2018/2019. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama/>.

ABUABDOU, S. M.; AHMAD, W.; AUN, N. C.; BASHIR, M. J. K. A review of anaerobic membrane bioreactors (anmbr) for the treatment of highly contaminated landfill leachate and biogas production: effectiveness, limitations and future perspectives. **Journal of Cleaner Production**, v. 255, p. 1-12, 2020.

ACHINAS, S.; ACHINAS, V.; EUVERINK, G. J. W. A technological overview of biogas production from biowaste. **Engineering**, v. 3, n. 3, p. 299–307, 2017.

AL-ADDOUS, M.; SAIDAN, M.; BDOUR, M.; ALNAIEF, M. Evaluation of biogas production from the co-digestion of municipal food waste and wastewater sludge at refugee camps using an automated methane potential test system. **Energies**, v. 12, n. 1, p. 32, 2019.

AL-RUBAYE, H.; KARAMBELKAR, S.; SHIVASHANKARAIHAH, M. M.; SMITH, J. D. Process simulation of two-stage anaerobic digestion for methane production. **Biofuels**, v.10, n. 2, p. 181–191, 2019.

ALGAPANI, D. E.; QIAO, W.; RICCI, M.; BIANCHI, D.; WANDERA, S.; ADANI, F.; DONG, R. Bio-hydrogen and bio-methane production from food waste in a two-stage anaerobic digestion process with digestate recirculation. **Renewable Energy**, v. 130, p. 1108–1115, 2019.

ANGELIDAKI, I.; ELLEGAARD, L.; AHRING, B. K. Applications of the anaerobic digestion process. **BiomethanationII**, v. 82, p. 1–33, 2003.

BALAT, M.; BALAT, H. Biogas as a renewable energy source—a review. **Energy Sources**, v. 31, n. 14, p. 1280–1293, 2009.

BANU, R.; KANNAH, Y. **Anaerobic Digestion**. Norderstedt: BoD—Books on Demand, 2019. 246p.

CAROTENUTO, C.; GUARINO, G.; MORRONE, B.; MINALE, M. Temperature and ph effect on methane production from buffalo manure anaerobic digestion. **International Journal of Heat and Technology**, v. 34, n. 2, p. 425–429, 2016.

CHENG, J. **Biomass to renewable energy processes**. 2 ed. Boca Raton: CRCpress, 2017. 437 p.

CHOONG, Y. Y.; CHOU, K. W.; NORLI, I. Strategies for improving biogas production of palm oil mill effluent (pome) anaerobic digestion: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 2993–3006, 2018.

CLERCQ, D. D.; WEN, Z.; FEI, F. Determinants of efficiency in anaerobic bio-waste co-digestion facilities: A data envelopment analysis and gradient boosting approach. **Applied Energy**, v. 253, p. 113-570, 2019.

ERYILDIZ, B.; LUKITAWESA; TAHERZADEH, M. J. Effect of ph, substrate loading, oxygen, and methanogens inhibitors on volatile fatty acid (vfa) production from citrus waste by anaerobic digestion. **Bioresource Technology**, v. 302, p. 1-10, 2020.

FUJISHIMA, S.; MIYAHARA, T.; NOIKE, T. Effect of moisture content on anaerobic digestion of dewatered sludge: ammonia inhibition to carbohydrate removal and methane production. **Water Science and Technology**, v. 41, n. 3, p. 119–127, 2000.

GUSTIN, S.; MARINSEK-LOGAR, R. Effect of ph, temperature and air flow rate on the continuous ammonia stripping of the anaerobic digestion effluent. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 89, n. 1, p. 61–66, 2011.

HAGMAN, L.; BLUMENTHAL, A.; EKLUND, M.; SVENSSON, N. The role of biogas solutions in sustainable biorefineries. **Journal of Cleaner Production**, v. 172, p. 3982–3989, 2018.

HAGOS, K.; ZONG, J.; LI, D. Anaerobic co-digestion process for biogas production: Progress, challenges and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 76, p. 1485–1496, 2017.

HANS, M.; KUMAR, S. Biohythane production in two-stage anaerobic digestion system. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 44, n. 32, p. 17363–17380, 2019.

HENGEVELD, E.; BEKKERING, J. ; VAN DAEL, M.; VAN GEMERT, W. J. T.; BROEKHUIS, A. A. Potential advantages in heat and power production when biogas is collected from several digesters using dedicated pipelines—a case study in the “province of west-flanders”(belgium). **Renewable Energy**, v. 149, p. 549 -564, 2020.

JARAMILLO, F.; ORCHARD, M.; MUÑOZ, C.; ZAMORANO, M.; ANTILEO, C. Advanced strategies to improve nitrification process in sequencing batch reactors—a review. **Journal of environmental management**, v. 218, p. 154–164, 2018.

JI, J.; SAKUMA, S.; NI, J.; CHEN, Y.; HU, Y.; OHTSU, A.; CHEN, R.; CHENG, H.; QIN, Y.; HOJO, T.; KUBOTA, K.; LI, Y-Y. Application of two anaerobic membrane bioreactors with different pore size membranes for municipal wastewater treatment. **Science of The Total Environment**, v. 745, p. 1-12, 2020.

KARIYAMA, I. D.; ZHAI, X.; WU, B. Influence of mixing on anaerobic digestion efficiency in stirred tank digesters: a review. **Water research**, v. 143, p. 503–517, 2018.

KHAYUM, N.; ANBARASU, S.; MURUGAN, S. Biogas potential from spent tea waste: A laboratory scale investigation of co-digestion with cow manure. **Energy**, v. 165, Part B, p. 760–768, 2018.

KORBAG, I.; OMER, S. M. S.; BOGHAZALA, H.; ABUSASIYAH, M. A. A. **Recent advances of biogas production and future perspective**. *In*: Biogas, IntechOpen, 2020.

KUMAR, A.; SAMADDER, S. Performance evaluation of anaerobic digestion technology for energy recovery from organic fraction of municipal solid waste: A review. **Energy**, v. 197, p. 1-13, 2020.

LAY, J.-J.; LI, Y.-Y.; NOIKE, T. Influences of ph and moisture content on the methane production in high-solids sludge digestion. **Water Research**, v. 31, n. 6, p. 1518–1524, 1997.

LEUNG, D. Y.; WANG, J. An overview on biogas generation from anaerobic digestion of food waste. **International Journal of Green Energy**, v. 13, n. 2, p. 119–131, 2016.

LIU, C.; WACHEMO, A. C.; TONG, H.; SHI, S. H.; ZHANG, L.; YUAN, H. R.; LI, X. J. Biogas production and microbial community properties during anaerobic digestion of corn stover at different temperatures. **Bioresource technology**, v. 261, p. 93–103, 2018.

LIU, G.; ZHANG, R.; LI, X.; DONG, R.; SUN, Z. Research progress in anaerobic digestion of high moisture. **Agricultural Engineering International**, v. 9, n. 13, p. 1-10, 2007.

MAO, C.; ZHANG, T.; WANG, X.; FENG, Y.; REN, G.; YANG, G. Process performance and methane production optimizing of anaerobic co-digestion of swine manure and corn straw. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 1–9, 2017.



MEDEIROS, R. F.; AMORIM, E. B.; GIROTTO, V. Transformação e obtenção do biogás metano por meio de biodigestores anaeróbios para geração de energia. **Revista Eletrônica de Graduação do UNIVEM**, v. 10, n. 1, p. 339–353, 2017.

NGHIEM, L. D.; KOCH, K.; BOLZONELLA, D.; DREWES, J. E. Full scale co-digestion of wastewater sludge and food waste: Bottlenecks and possibilities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, p. 354–362, 2017.

ORJUELA-CASTRO, J. A.; ARANDA-PINILLA, J. A.; MORENO-MANTILLA, C. E. Identifying trade-offs between sustainability dimensions in the supply chain of biodiesel in Colombia. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 161, p. 162–169, 2019.

PAMPILLÓN-GONZÁLEZ, L.; ORTIZ-CORNEJO, N. L.; LUNA-GUIDO, M.; DENDOOVEN, L.; NAVARRO-NOYA, Y. E. Archaeal and bacterial community structure in an anaerobic digestion reactor (lagoon type) used for biogas production at a pig farm. **Journal of Molecular Microbiology and Biotechnology**, v. 27, n. 5, p. 306–317, 2017.

PAOLINI, V.; PETRACCHINI, F.; SEGRETO, M.; TOMASSETTI, L.; NAJA, N.; CECINATO, A. Environmental impact of biogas: A short review of current knowledge. **Journal of Environmental Science and Health**, v. 53, n. 10, p. 899–906, 2018.

PAUL, A.; KONAR, S.; GHOSH, S.; ANIRBAN, R. Biogas production and uses. *In*: KUILA, A., MUKHOPADHYAY, M. **Biorefinery Production Technologies for Chemicals and Energy**. Wiley, 2020. cap. 17, p.347-355.

PHUTTARO, C.; SAWATDEENARUNAT, C.; SURENDRA, K. C.; BOONSAWANG, P.; CHAIPRAPAT, S.; KHANAL, S. K. Anaerobic digestion of hydrothermally-pretreated lignocellulosic biomass: Influence of pretreatment temperatures, inhibitors and soluble organics on methane yield. **Bioresource technology**, v. 284, p. 128–138, 2019.

PIEBER, B.; SHALOM, M.; ANTONIETTI, M.; SEEBERGER, P. H.; GILMORE, K. Continuous heterogeneous photocatalysis in serial micro-batch reactors. **An gewandte Chemie International Edition**, v. 57, n. 31, p. 9976–9979, 2018.

PRAJAPATI, K. B.; SINGH, R. Kinetic modelling of methane production during bio-electrolysis from anaerobic co-digestion of sewage sludge and food waste. **Bioresource technology**, v. 263, p. 491–498, 2018.

RAVI, P. P.; LINDNER, J.; OECHSNER, H.; LEMMER, A. Effects of target ph-value on organic acids and methane production in two-stage anaerobic digestion of vegetable waste. **Bioresource Technology**, v. 247, p. 96–102, 2018.

SADINO-RIQUELME, C.; HAYES, R. E.; JEISON, D.; DONOSO-BRAVO, A. Computational fluid dynamic (cfD) modelling in anaerobic digestion: General application and recent advances. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 48, n. 1, p. 39–76, 2018.

SHAHIDUL, M.; MALCOLM, M. L.; EUGENE, J. J.; MAMUNUR, R. Optimization of factors affecting biogas production from pome. **Science International-Lahore**, v. 30, n. 6, p. 851–859, 2018.

SINGH, A.; BASAK, P. Economic and environmental evaluation of municipal solid waste

management system using industrial ecology approach: Evidence from India. **Journal of Cleaner Production**, v. 195, p. 10–20, 2018.

TANIMU, M. I.; GHAZI, T. I. M.; HARUN, R. M.; IDRIS, A. Effect of carbon to nitrogen ratio of food waste on biogas methane production in a batch mesophilic anaerobic digester. **International journal of innovation, management and technology**, v. 5, n. 2, p. 116–119, 2014.

TONG, J.; LU, X.; ZHANG, J.; ANGELIDAKI, I.; WEI, Y. Factors influencing the fate of antibiotic resistance genes during thermochemical pretreatment and anaerobic digestion of pharmaceutical waste sludge. **Environmental Pollution**, v. 243, p. 1403–1413, 2018.

WELLINGER, A.; MURPHY, J. D.; BAXTER, D. **The biogas handbook: science, production and applications**. Woodhead Publishing, 2013. 146 p.

ZOU, Y.; XIAO, Y.; WANG, H.; FANG, T.; DONG, P. New insight into fates of sulfonamide and tetracycline resistance genes and resistant bacteria during anaerobic digestion of manure at thermophilic and mesophilic temperatures. **Journal of hazardous materials**, v. 384, p. 1-9, 2020.

## EFEITO ANSIOLÍTICO DAS CASCAS DE *AZADIRACHTA INDICA* (NEEM, MELIACEAE) NA ANSIEDADE CRÔNICA INDUZIDA POR AGUARDENTE

Atilano L. dos S. Moura<sup>\*1</sup>, Antonio W. da Silva<sup>2</sup>, Maria K. A. Ferreira<sup>3</sup>, Yanna J. da S. Freitas<sup>1</sup>, Jane Eire S. A. de Menezes<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Curso de Licenciatura em Química, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, \*e-mail: atilano.lucas@aluno.uece.br.

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Estadual do Ceará.

<sup>3</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciência e Tecnologia.

<sup>4</sup>Laboratório de Química de Produtos Naturais, Universidade Estadual do Ceará.

**RESUMO:** A ansiedade é uma doença que se manifesta por sensações de mal-estar psíquico, traduzidos por uma variedade de perturbações somáticas relacionadas à hiperatividade autonômica. A busca por alternativas mais seguras e efetivas para o tratamento dessa doença encontra nas plantas medicinais uma fonte promissora, sendo grande a variedade de plantas usadas com esse propósito, onde a maioria delas já passou por testes pré-clínicos, no entanto, estes devem ser complementados com testes clínicos a fim de atestar a segurança e a eficácia das mesmas. Neste trabalho, peixes zebra adulto foram pré tratados com aguardente e em seguida a ansiedade foi induzida pela abstinência alcoólica, sendo tratada com o fração insaponificável de diclorometano do extrato das cascas do neem, e seu efeito ansiolítico também foi comparado com o diazepam, que também foi utilizado no tratamento. Ambas demonstraram efeito ansiolítico no peixe-zebra adulto, caracterizado pela permanência na zona clara no teste claro escuro, dependentemente da dose das amostras utilizadas.

**Palavras-chave:** Efeito ansiolítico. F-Dic. Zebrafish (*Danio rerio*) adulto.

**ABSTRACT:** Anxiety is a disease that is manifested by feelings of psychic malaise, translated by a variety of somatic disorders related to autonomic hyperactivity. The search

for safer and more effective alternatives for the treatment of this disease finds in medicinal plants a promising source, with a great variety of plants used for this purpose, where most of them have already undergone pre-clinical tests, however, these must be complemented with clinical tests in order to certify their safety and efficacy. In this work, adult zebra fish were pre-treated with spirits and then anxiety was induced by alcohol withdrawal, being treated with the unsaponifiable fraction of dichloromethane from the bark extract. neem, and its anxiolytic effect was also compared with diazepam, which was also used in the treatment. Both demonstrated an anxiolytic effect in the adult zebrafish, characterized by the permanence in the light zone in the light dark test, depending on the dose of the samples used.

**Keywords:** anxiolytic effect. F-Dic. adult Zebrafish (*Danio rerio*).

## 1 INTRODUÇÃO

A ansiedade é um transtorno comportamental multidimensional que vem sendo estudada na neurociência, que tem como objetivo compreender o modo como os circuitos neurais modulam esse comportamento (KALUEFF; KALUYEVA; MAILET, 2017). Segundo estimativas da Organização Mundial da Saúde (OMS), 9,3% dos brasileiros têm algum transtorno de ansiedade e a depressão afeta 5,8% da população (JAMIL; ISABELA, 2017). *Azadirachta indica* (Neem), uma árvore originária da Índia e de Mianmar, chamada por muitos de “A farmácia da aldeia” ou “Árvore divina” devido às suas muitas propriedades para a saúde, demonstrou, a partir de seus extratos, ter atividades antiinflamatórias, no controle de diabetes e até mesmo no combate ao cancer e seus efeitos potenciais podem ser atribuídos a mecanismos celulares que incluem eliminação de radicais livres, desintoxicação, reparo de DNA, alteração do ciclo celular, mitigação de morte celular programada e autofagia, vigilância imunológica, antiinflamatório, anti - atividades angiogênicas e antimetastáticas e a capacidade de modular várias vias de sinalização (ARUMUGAM *et al.*, 2014; OMÓBÒWÁLÉ *et al.*, 2016; PATEL *et al.*, 2016 ). Neste trabalho, a ansiedade foi investigada em peixes-zebra adultos através da indução pela abstinência alcoólica e seu tratamento foi feito a partir da fração

insaponificável de diclorometano do extrato das cascas do neem (F-Dic).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Material botânico

A casca de *A. indica* foi coletada no município de Tauá (040°18'05,4 "W; 06°01'03,6" S) no estado do Ceará, Brasil, após obtenção de autorização do SISBIO, conforme registro para coleta de botânicos, material fúngico e microbiológico, nº 29145-4. A identificação botânica foi realizada no Herbário Prisco Bezerra da Universidade Federal do Ceará, onde foi depositada uma exsicata sob o número 56044.

### 2.2 Preparação de extrato

O extrato bruto foi obtido da casca (350 g) de *Azadirachta indica* (Neem, Meliaceae), utilizando as metodologias descritas por Matos (2009). Etanol comercial (96 ° GL) foi utilizado como solvente orgânico e, após 96 horas de extração a frio, foram realizadas filtrações simples, e os extratos foram mantidos em banho-maria ( $50 \pm 2$  °C) para completa evaporação do solvente. O rendimento do extrato etanólico de casca de Neem obtido (EtCNeem) foi de 89,4 g (25,54%). Foi realizado a reação de saponificação seguindo a metodologia proposta por Scroder (2013) para obtenção da fração insaponificável de diclorometano do extrato das cascas do neem. O rendimento da fração insaponificável diclorometano (F-Dic) foi de 2,56 g (10,24%).

### 2.3 Ansiedade induzida pela abstinência de alcoólica

A ansiedade induzida pela abstinência de álcool foi investigada em peixes-zebra adultos, com base no método descrito por Ferreira *et al*, (2019). A aguardente de cana-de-açúcar amarela (ACAA) foi utilizada como fonte de etanol (38% de EtOH). Em seguida, os animais (n = 6 / grupo) foram divididos em sete grupos:

- a. Grupo I - Naïve (sem tratamentos);

- b. Grupo II - Veículo - DMSO 3% (20µl, v.o);
- c. Grupo III - Do 1º ao 5º dia: ACAA (20µL, v.o.).
- d. Grupo IV - ACAA (20 µL, v.o.), do 1º ao 5º dia. No dia 11: F-Dic (1,0 mg/mL; i.p);
- e. Grupo V ACAA (20 µL, v.o.), A partir do dia 1 até ao dia 5. No 11 º dia: F-Dic (2,5 mg/ mL; ip );
- f. Grupo VI - ACAA (20 µL; v.o.), Do dia 1º ao 5º dia. No dia 11: F-Dic (5,0 mg/mL; ip );
- g. Grupo VII - ACAA (20 µL; v.o.), Do 1º ao 5º dia. No 11 º dia: diazepam (1,0 mg/mL; ip ).

Após 1 h dos tratamentos orais e 30 min dos tratamentos intraperitoneais, os animais foram adicionados individualmente à zona de luz do aquário e o efeito do tipo ansiolítico foi caracterizado pela permanência dos animais na zona de luz durante 5 min de análise no teste claro & escuro. Reversão de ansiedade causada pela crise abstinência foi avaliada apenas no 11º dia, em que (n = 6 / grupo) de AZF receberam F-Dic (1,0 ou 2,5 ou 5,0 mg/mL; i.p.) ou diazepam (1,0 mg/mL; i.p.).

## 2.4 Análise estatística

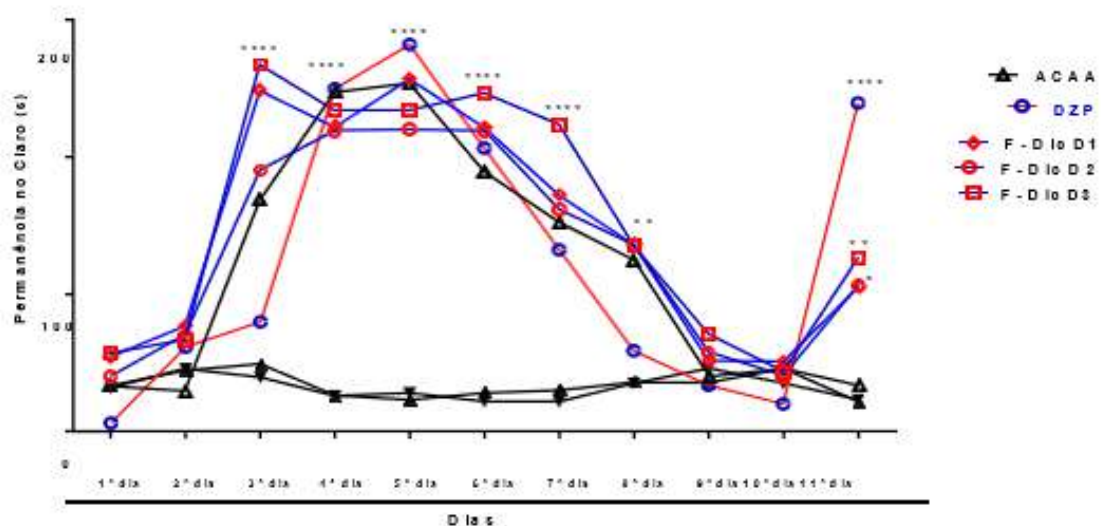
Os resultados foram expressos como média ± desvio padrão da média para testes in vivo (n = 6 / grupo). Após confirmação da distribuição de normalidade e homogeneidade dos dados, as diferenças entre os grupos foram submetidas à análise de variância (ANOVA one-way), seguida do teste de Tukey, por meio do software GraphPad Prism 7.0. O nível de significância estatística considerado foi de 5% (p <0,05).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

ACAA (38%; 20 µL; v.o.) causou um efeito do tipo ansiolítico do 3º ao 5º dia (\*\*\*\* p <0,0001 vs. Naïve ou veículo) do tratamento. Esse efeito também foi observado durante três dias de abstinência: no 6º e 7º dia (\*\*\*\* p <0,0001); no 8º dias (\*\* p <0,01) (Figura 1). F-Dic (2,5 e 5,0 mg/mL, i.p ) preveniu significativamente (\*\* p < 0,01, \* p <

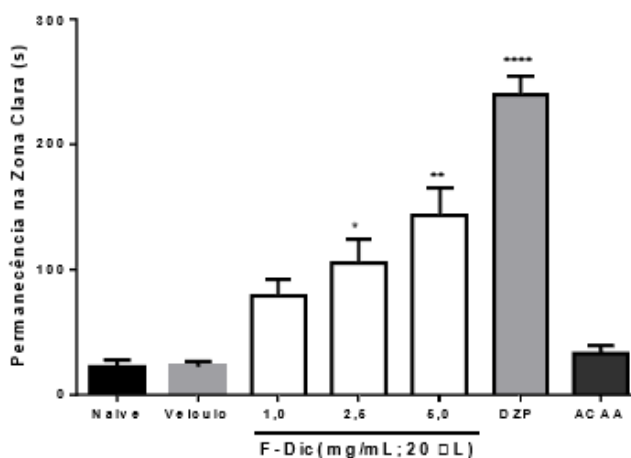
0,05) a ansiedade induzida pela retirada do álcool no zebrafish adulto no 11º dia, significativamente semelhante ao efeito do Diazepam (Dzp; 1,0 mg/mL; ip ; \*\*\*\* p <0,0001) (Figura 2).

**Figura 1- Efeito de F-Dic na ansiedade em zebrafish adultos, induzida por abstinência de álcool no teste de claro e escuro (0-5min). Grupo I - Naive - animais não tratados (Controle). Grupo II - Veículo (DMSO 3%; 20µl, ip ; 1º ao 11º dia). Grupo III - ACAA - aguardente de cana-de-açúcar amarela (EtOH 38%, 20µL; po ; 1º-5º dia). Grupo IV - F-Dic D1 (1,0 mg/mL; ip ; 11º dia). Grupo V - F- Dic D2 (2,5 mg/mL; ip ; 11º dia). Grupo VI – F-Dic D3 (5,0 mg/mL; ip , 11º dia). Grupo VII - Dzp-Diazepam (1,0 mg/mL, i.p .; 11º dia)**



Fonte: Elaborado pelos autores.

**Figura 2- Prevenção de ansiedade induzida por retirada de álcool (11º dia) por F-Dic no teste claro & escuro (0-5 min). Os valores representam a média ± erro padrão da média (EPM) para 6 animais / grupo. ANOVA seguida por Tukey (\*\*\*\* p <0,0001, \*\* p <0,01, \* p <0,05 vs. Naive ou ACAA ou Veículo)**



Fonte: Elaborado pelos autores.

#### 4 CONCLUSÕES

A fração insaponificável de diclorometano do extrato das cascas do neem, nas concentrações de 2,5 e 5,0 mg/mL, preveniu significativamente a ansiedade induzida pela retirada do álcool no zebrafish adulto no 11º dia, efeito semelhante ao DZP na concentração de 1,0 mg. Percebeu-se que quanto maior a concentração do F-Dic, maior a permanência dos animais na zona clara do aquário, caracterizando o efeito ansiolítico do extrato.

#### 5 REFERÊNCIAS

ARUMUGAM, A.; AGULLO, P.; BOOPALAN, T.; NANDY, S.; LOPEZ, R.; GUTIERREZ, C.; NARAYAN, M.; RAJKUMAR, L. Neem leaf extract inhibits mammary carcinogenesis by altering cell proliferation, apoptosis, and angiogenesis. **Cancer Biology & Therapy**, v. 15, n. 1, p. 26-34, 2013.

FERREIRA, M. K. A.; da SILVA, A. W.; SILVA, F. C. O.; HOLANDA, C. L. A.; BARROSO, S. M.; LIMA, J. dos R.; VIEIRA NETO, A. E.; CAMPOS, A. R.; BANDEIRA, P. N.; DOS SANTOS, H. S.; DE LEMOS, T. L. G.; SIQUEIRA, S. M. C.; MAGALHÃES, F. E. A.; DE MENEZES, J. E. S. A. Anxiolytic-like effect of chalcone N-{{(4'-[(E)-3-(4-fluorophenyl)-1-(phenyl) prop-2-en-1-one]] acetamide on adult zebrafish (*Danio rerio*): Involvement of the GABAergic system. **Behavioral Brain Research**, v. 374: p. 111871, 2019.

JAMIL, C.; ISABELA, P. **Brasil tem maior taxa de transtorno de ansiedade do mundo**,



**diz** **OMSO**. Página modificada em 23 fev. 2017. Disponível em: <https://saude.estadao.com.br/noticias/geral,brasil-tem-maior-taxa-de-transtorno-de-ansiedade-do-mundo-diz-oms>. Acesso em: 10 jun. 2018

KALUEFF, A. V.; KALUYEVA, A.; MAILET, E. L. Anxiolytic-like effects of noribogaine in zebrafish. **Behavioural Brain Research**, v. 330, p. 63–67, 2017.

MATOS, F. J. A. **Introdução ao Fitoquímico Experimental**. 3 ed., Fortaleza, Editora UFC, 2009. 150 p.

OMÓBÒWÁLÉ, T. O.; OYAGBEMI, A. A.; ADEJUMOBI, O. A.; ORHERHE, E. V.; AMID, A. S.; ADEDAPO, A. A.; NOTTIDGE, H. O.; YAKUBU, M. A. Preconditioning with *Azadirachta indica* ameliorates cardiorenal dysfunction through reduction in oxidative stress and extracellular signal regulated protein kinase signalling. **Journal of Ayurveda e Integrative Medicine**, v. 7, n. 4, p. 209-217, 2016.

PATEL, S. M.; VENKATA, K. C. N.; BHATTACHARYYA, P.; SETHI, G.; BISHAYEE, A. Potential of neem (*Azadirachta indica* L.) for prevention and treatment of oncologic diseases. **Seminars in Cancer Biology**, v. 40-41, p. 100-115, 2016

SCRODER, Luiza. **Obtenção de ácidos graxos de biomassa úmida de microalgas através de saponificação**. 2013. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná; Curitiba, 2013.

## EFEITO ANTI-INFLAMATÓRIO DO EXTRATO DE *COMBRETUM LANCEOLATUM* VIA EDEMA ABDOMINAL FRENTE ZEBRAFISH

Joyce dos R. Lima<sup>\*1</sup>, Antônio W. da Silva<sup>2</sup>, Maria K. A. Ferreira<sup>1</sup>, Hécio S. dos Santos<sup>3</sup>, Jane Eire S. A. de Menezes<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciência e Tecnologia, \*e-mail: joyce.reis@aluno.uece.br.

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Estadual do Ceará.

<sup>3</sup>Universidade Estadual Vale do Acaraú, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia.

<sup>4</sup>Laboratório de Química de Produtos Naturais, Universidade Estadual do Ceará.

**RESUMO:** A inflamação celular pode ser o fator determinante em muitas doenças, levando à morte celular prematura, causando danos específicos a órgãos, ou à estimulação celular, iniciando a formação de vários tumores. O presente trabalho propõe avaliar a atividade anti-inflamatória do extrato etanólico do fruto de *Combretum lanceolatum* Pohl ex Eichler (EtFrCl) via edema abdominal induzido por carragenina frente a zebrafish (*Danio rerio*) adulto. A inflamação em edema abdominal foi induzido por carragenina (agonista 1,5%; 20 µL; i.p.), aplicada nos animais (n=6/grupo), 1h após pré-tratamento com EtFrCl (0,1; 0,5 e 1,0 mg/mL; 20µL; v.o.), diclofenaco de sódio (10 mg/kg; 20 µL; v.o.), utilizada como controle positivo, e controle (DMSO 3%; 20 µL; v.o.). Após a injeção de carragenina, o peso corporal foi medido em intervalos de 1h até 4h. Os peixes foram sacrificados imediatamente para interromper as reações biológicas ao final do experimento. Foram utilizados média ±E.P.M. e ANOVA. Como resultado, EtFrCl (0,5 mg/mL) inibiu significativamente o edema abdominal induzida por carragenina.

**Palavras-chave:** *Combretum lanceolatum*. Inflamação. Zebrafish.

**ABSTRACT:** Cellular inflammation can be the determining factor in many diseases, leading to premature cell death, causing specific damage to organs, or to cellular stimulation, initiating the formation of several tumors. The present work proposes to

evaluate the antiinflammatory activity of the ethanolic extract of the fruit of *Combretum lanceolatum* Pohl ex Eichler (EtFrCl) via abdominal edema induced by carrageenan against adult zebrafish (*Danio rerio*). Inflammation in abdominal edema was induced by carrageenan (1.5% agonist; 20 $\mu$ L; i.p.), applied to animals (n=6/group), 1h after pre-treatment with EtFrCl (0.1; 0.5 and 1,0 mg/mL; 20 $\mu$ L; v.o.), sodium diclofenac (10 mg / kg; 20  $\mu$ L; v.o.), used as a positive control, and control (DMSO 3%; 20 $\mu$ L; v.o.). After carrageenan injection, body weight was measured at intervals from 1h to 4h. The fish were immediately sacrificed to stop biological reactions at the end of the experiment. Mean $\pm$ S.E.M. and ANOVA. As a result, EtFrCl (0.5 mg/mL) significantly inhibited carrageenan-induced abdominal edema.

**Keywords:** *Combretum lanceolatum*. Inflammation. Zebrafish.

## 1 INTRODUÇÃO

A inflamação celular pode ser o fator determinante em muitas doenças, levando à morte celular prematura, causando danos específicos a órgãos, ou à estimulação celular, iniciando a formação de vários tumores. A inflamação crônica é considerada parte integrante do desenvolvimento de várias doenças, incluindo diabetes, doenças cardíacas, câncer, distúrbios digestivos, doenças autoimunes ou distúrbios neurodegenerativos. Como a inflamação é o resultado da resposta protetora do sistema imunológico aos patógenos invasores ou sinais endógenos, como células danificadas, ela tem sido associada à sintomatologia de doenças infecciosas (GINWALA *et al.*, 2019).

*Combretum lanceolatum* Pohl ex Eichler (Figura 1) é popularmente conhecido como “pombeiro vermelho” no Brasil. É uma árvore arbustiva e tem grande capacidade de ocupar novas áreas na região pantaneira devido à sua capacidade de crescer e se reproduzir rapidamente, mesmo em condições de estresse hídrico e incêndios florestais. Sua capacidade adaptativa é evidenciada pela formação de população dominante denominada 'pombeiral' (SIQUEIRA *et al.*, 2017). Estudos fitoquímicos realizados no gênero *Combretum* demonstraram a ocorrência de diversas classes de constituintes,

incluindo triterpenos, flavonóides, lignanas e aminoácidos não proteicos (LIMA *et al.*, 2012).

**Figura 1 – Espécie *Combretum lanceolatum* Pohl ex Eichler**



Fonte: Elaborado pelos autores.

Nos últimos anos, o zebrafish (*Danio rerio*) foi estabelecido como um modelo ideal para estudar a fisiopatologia de doenças relacionadas à inflamação humana e triagem *in vivo* de alto rendimento. Tornou-se um organismo modelo de vertebrados bem estabelecido (SIVAMANI *et al.*, 2014). Tendo como nome comum “paulistinha” ou peixe-zebra, é um pequeno peixe tropical de água doce originário do Rio Ganges e seus afluentes no norte da Índia. No habitat natural, os peixes-zebra são geralmente encontrados no fundo da água para minimizar o ataque de predadores (TEAME *et al.*, 2019). Portanto, o presente trabalho propõe avaliar a atividade anti-inflamatória do extrato etanólico do fruto de *Combretum lanceolatum* Pohl ex Eichler via edema abdominal induzido por carragenina frente a zebrafish (*Danio rerio*) adulto.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Obtenção do extrato

O extrato bruto foi obtido dos frutos de *C. lanceolatum* Pohl ex Eichler (EtFrCl) segundo metodologia descrita por Braquehais *et al.* (2016). Os frutos da planta foram submetidas à secagem a temperatura ambiente ( $30 \pm 2$  °C), triturado e submerso em

etanol comercial (96%) para extração exaustiva a frio por 96 h. Em seguida, foram realizadas filtrações simples, sob condições assépticas, e após evaporação simples do solvente, em banho-maria a 50 °C, o extrato obtido foi armazenado em geladeira (5 °C) até a utilização.

## 2.2 Zebrafish (*Danio rerio*) adulto (ZFa)

Animais zebrafish adulto (ZFa) com 60 a 90 dias ( $0,4 \pm 0,1$  g), selvagens, de ambos os sexos, foram obtidos de um fornecedor comercial (Fortaleza, CE). Os animais foram mantidos em aquário de vidro ( $n=5/L$ ), à temperatura de  $25 \pm 2$  °C, em ciclos de claro-escuro por 24 h. Água foi tratada com anticloro. Todos os procedimentos experimentais foram aprovados pelo Comitê de Ética do Uso de Animais da Universidade Estadual do Ceará (CEUA-UECE) sob protocolo nº 200621/2020.

## 2.3 Comportamento inflamatório induzido por carragenina

A inflamação em edema abdominal foi induzido por carragenina (agonista 1,5%; 20 µL; i.p.), aplicada nos animais ( $n=6/\text{grupo}$ ), 1h após pré-tratamento com EtFrCl (0,1; 0,5 e 1,0 mg/mL; 20 µL; v.o.), diclofenaco de sódio (10 mg/kg; 20 µL; v.o.), utilizada como controle positivo, e controle (DMSO 3%; 20 µL; v.o.). Após a injeção de carragenina, o peso corporal foi medido em intervalos de 1 h até 4 h (HUANG *et al.*, 2014). Os peixes foram sacrificados imediatamente para interromper as reações biológicas ao final do experimento.

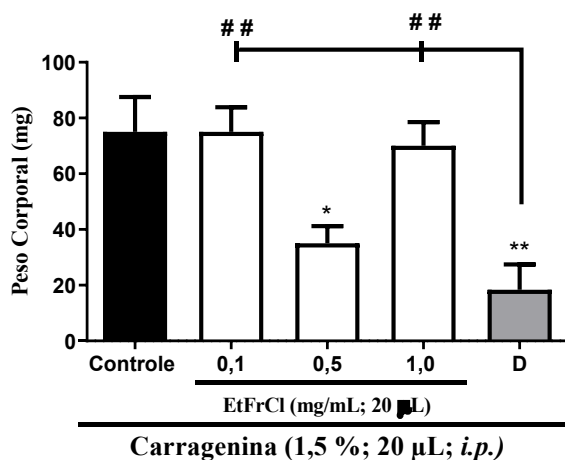
## 2.4 Análise estatística

Os resultados foram expressos como média  $\pm$  desvio padrão da média para testes *in vivo* ( $n = 6/\text{grupo}$ ). Após confirmação da distribuição de normalidade e homogeneidade dos dados, as diferenças entre os grupos foram submetidas à análise de variância (ANOVA one-way), seguida do teste de Tukey, por meio do software GraphPad Prism 7.0. O nível de significância estatística considerado foi de 5% ( $p < 0,05$ ).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse estudo, foi avaliada a atividade anti-inflamatória do EtFrCl frente ao zebrafish adulto. Como resultado, EtFrCl (0,5 mg/mL) inibiu significativamente ( $p < 0,05$  vs controle) o edema abdominal induzido por carragenina. Conforme o esperado, o diclofenaco de sódio reverteu significativamente a inflamação ( $p < 0,01$  vs controle) (Figura 2).

**Figura 2 - Efeito de EtFrCl sob inflamação induzida por carragenina em zebrafish (*Danio rerio*) adulto. Cada coluna representa a média  $\pm$  erro padrão da média (n=6/grupo). Os números acima das colunas indicam a porcentagem de analgesia (%A). Controle: veículo (DMSO 3%; 20uL; i.p.). D - diclofenaco de sódio (10 mg/kg; 20  $\mu$ L; v.o.). ANOVA unidirecional com teste pós-hoc tukey**



Os resultados corroboram com os estudos de Gouveia *et al.* (2011) que reportam que algumas espécies de *Combretum* apresentam potencial anti-inflamatório. As espécies que apresentaram alta atividade anti-inflamatória foram *Combretum piculatum*, *Combretum mossambicense*, *Combretum imberbe* e *Combretum molle*. Essa última espécie, juntamente com *Combretum apiculatum*, também apresentou atividade antibacteriana significativa (McGAW *et al.*, 2001).

#### 4 CONCLUSÕES

O extrato etanólico do fruto de *C. laceolatum* Pohl ex Eichler reverteu a inflamação, na concentração intermediária, induzida por carragenina frente a zebrafish adulto. Portanto, é viável considerar que a espécie possa contribuir para o desenvolvimento de novos fármacos anti-inflamatórios.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Agradecimentos à FUNCAP e CAPES pelo apoio financeiro para realização desta pesquisa.

#### 6 REFERÊNCIAS

- BERLINCK, R. G. S.; BORGES, W. S.; SCOTTI, M.; VIEIRA, P. C. A química de produtos naturais do Brasil do século XXI. **Química Nova**, v. 40, n. 6, p. 706-710, 2017.
- BRAQUEHAIS, I. D.; VASCONCELOS, F. R.; RIBEIRO, A. R. C.; DA SILVA, A. R. A.; FRANCA, M. G. A.; DE LIMA, D. R.; DE PAIVA, C. F.; GUEDES, M. I. F.; MAGALHÃES, F. E. A. Estudo preliminar toxicológico, antibacteriano e fitoquímico do extrato etanólico das folhas de *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. (pinhão-bravo, Euphorbiaceae), coletada no Município de Tauá, Ceará, Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 18, n. 2, p.582-587, 2016.
- GINWALA, R.; BHAVSAR, R.; CHIGBU, D.G.I.; JAIN, P.; KHAN, Z. K. Potential Role of Flavonoids in Treating Chronic Inflammatory Diseases with a Special Focus on the Anti-Inflammatory Activity of Apigenin. **Antioxidants**, v. 8, n. 2, p. 1-28, 2019.
- GOUVEIA, M. G. S.; XAVIER, M. A.; BARRETO, A. S.; GELAIN, D. P.; SANTOS, J. P. A.; ARAÚJO, A. A. S.; SILVA, F. A.; QUINTANS, J. S.; AGRA, M. F.; CABRAL, A. L. G. S.; TAVARES, J. F.; SILVA, M. S.; QUINTANS-JÚNIOR, L. J. Antioxidant, Antinociceptive, and Anti-inflammatory Properties of the Ethanolic Extract of *Combretum duarteanum* in Rodents. **Journal of Medicinal Food**, v. 14, n. 11, p. 1389-1396, 2011.
- HUANG, S.; FENG, C.; HUNG, H.; CHAKRABORTY, C.; CHEN, C-H.; CHEN, W-F.; JEAN, Y-H.; WANG, H-M.; SUNG, C-S.; SUN, Y-M.; HUANG, S-Y. A Novel Zebrafish Model to Provide Mechanistic Insights into the Inflammatory Events in Carrageenan-Induced Abdominal Edema. **Plos One**, v. 9, p. 1-11, 2014.
- McGAW, L. J.; RABE, T.; SPARG, S. G.; JÄGER, A. K.; ELOFF, J. N.; VAN STADEN, J. An investigation on the biological activity of *Combretum* species. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 75, p. 45-50, 2001.



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS NATURAIS

SIQUEIRA, K. A.; BRISSOW, E. R.; SANTOS, J. L.; BRANCO, J. F.; SANTOS, F. R.; DE ALMEIDA, E. G.; SOARES, M. A. Endophytism and bioactivity of endophytic fungi isolated from *Combretum lanceolatum* Pohl ex Eichler. **Symbiosis**, v. 71, p. 211-222, 2017.

SIVAMANI, S.; JOSEPH, B.; KAR, B. Anti-inflammatory activity of *Withania somnifera* leaf extract in stainless steel implant induced inflammation in adult zebrafish. **Journal of Genetic Engineering and Biotechnology**, v. 12, p. 1-6, 2014.

TEAME, T.; ZHANG, Z.; RAN, C.; ZHANG, H.; YANG, Y.; DING, Q.; XIE, M.; GAO, C.; YE, Y.; DUAN, M.; ZHOU, Z. The use of zebrafish (*Danio rerio*) as biomedical models. **Feature Article**, v. 9, n. 3, p. 68-77, 2019.



## **EFEITO ANTINOCICEPTIVO DO TRITERPENÓ ACIDO ACETIL ALEURITÓLICO EM ZEBRAFISH ADULTO: PARTICIPAÇÃO DOS CANAIS ASICs.**

**Joyce do N. M. Cardoso<sup>\*1</sup>, Antônia J. N. Bezerra<sup>2</sup>, Maria K. A. Ferreira<sup>2</sup>, Hécio S. dos Santos<sup>3</sup>, Jane Eire S. A. de Menezes<sup>4</sup>.**

<sup>1</sup>Curso de Licenciatura em Química, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciência e Tecnologia, \*e-mail: joyce.martins@aluno.uece.br.

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciência e Tecnologia.

<sup>3</sup>Universidade Estadual Vale do Acaraú, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia.

<sup>4</sup>Laboratório de Química de Produtos Naturais, Universidade Estadual do Ceará.

**RESUMO:** Os canais ASICs (Canais Iônicos Sensíveis a Ácidos) são canais de cátions protegidos por prótons, insensíveis à voltagem, são ativados por prótons extracelulares nos gânglios da raiz dorsal e bastante distribuídos em todas as partes do cérebro, estão presentes tanto no sistema nervoso central como no sistema nervoso periférico que estão distribuídos por toda membrana celular, que são capazes de serem ativados através da mudança do pH que os circulam. Entretanto, este estudo tem o objetivo de investigar o efeito do ácido acetil aleuritólico (AAA) sob nocicepção em peixe-zebra adulto induzida pela salina ácida (agonista ASICs). Como resultado, a concentração do ácido acetil aleuritólico AAA (1 mg / mL) inibiu ( $p < 0,01$  vs. Controle) a nocicepção em peixe-zebra adulto induzida pela salina ácida, pois foi semelhante ao efeito da morfina 63% ( $p < 0,001$  vs. Controle). Sendo assim, novos estudos serão realizados para investigar possíveis mecanismo de ação.

**Palavra-chave:** ASICs. Zebrafis. Nocicepção.

**ABSTRACT;** The ASICs (Acid-Sensitive Ion Channels) are cation channels protected by protons, insensitive to voltage, activated by extracellular protons in the root ganglia and are dorsal and widely distributed in all parts of the brain, present both in the central

nervous system and in the peripheral nervous system that are distributed throughout the cell membrane, which are able to be activated by changing the pH around them. However, this study aims to investigate the effect of acetyl aleuritolic acid (AAA) under nociception in adult zebrafish induced by acid saline (agonist ASICs). As a result, the concentration of AAA acetyl aleuritolic acid (1 mg / mL) inhibited ( $p < 0.01$  vs. Control) a nociception in adult zebrafish induced by acid saline, as it was similar to the effect of 63% morphine ( $p < 0.001$  vs. Control). Therefore, further studies will be carried out to investigate possible mechanisms of action.

**Keyword:** ASICs. Zebrafish. Nociception.

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com o novo conceito da Associação Internacional para Estudos da Dor em 2020, a dor é definida como “uma experiência sensitiva e emocional desagradável associada, ou semelhante àquela associada, a uma lesão tecidual real ou potencial,” enquanto que a definição de nocicepção, ao contrário da dor é definido como “à atividade que ocorre no sistema nervoso em resposta a um estímulo nocivo” (RAJA *et al.*, 2020).

O Triterpeno ácido acetil aleuritólico (AAA), com fórmula molecular  $C_{32}H_{50}O_4$  foi isolado do caule da planta *Croton zehntneri* que é uma planta natural do Nordeste brasileiro, popularmente conhecida como “canela de cunhã”. Essa espécie de planta é utilizada na medicina tradicional como sedativo, estimulante do apetite, antianorexigênico e alívio de distúrbios gastrointestinais. O triterpeno (AAA) foi isolado pela primeira vez de uma espécie chamada Euphorbiaceae, como *C. Cajucara*, e observou-se ação anti-inflamatória e antinociceptiva (BEZERRA *et al.*, 2020; MELO *et al.*, 2014).

Os canais ASICs (Canais Iônicos Sensíveis a Ácidos) são canais de cátions protegidos por prótons, insensíveis à voltagem, são ativados por prótons extracelulares nos gânglios da raiz dorsal e bastante distribuídos em todas as partes do cérebro (MUSTAFINA *et al.*, 2016; ABRANTE *et al.*, 2019). O agonista dos receptores dos canais ASICs é a salina ácida, que é capaz de ativar a sensibilidade de estímulos nocivo sem

prejudicar a parte tecidual do animal (SHARMA *et al.*, 2009).

A literatura mostra que os receptores que identificam estímulos dolorosos (nociceptores) no zebrafish (*Danio rerio*), um pequeno peixe teleósteo, são bastante semelhantes ao detectado em humanos. Portanto, o uso do peixe-zebra em estudos de nocicepção chamou atenção dos pesquisadores. Uma das principais ações observadas é a atividade locomotora do animal, que utiliza o campo aberto para analisar a reação nociceptiva do peixe-zebra adulto (MAGALHÃES *et al.*, 2018).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Obtenção do triterpeno ácido acetil aleuritólico (AAA)

O triterpeno (AAA) isolado do caule de *Croton zehntneri* de acordo com a metodologia de Melo *et al.* (2014), e fornecido pelo Prof. Dr. Hécio Silva dos Santos, da Universidade Vale do Acaraú (UVA).

### 2.2 Zebrafish

Foram utilizados zebrafish (*Danio rerio*) adulto (ZFa), selvagens, ambos os sexos com idade de 60-90 dias, tamanhos de  $3.5 \pm 0.5$  cm e peso  $0.4 \pm 0.1$  g, obtidos da Agroquímica: Comércio de Produtos Veterinários LTDA, um fornecedor em Fortaleza (Ceará, Brasil). Grupos de 50 peixes foram aclimatados por 24 horas em aquários de vidro (40 x 20 x 25 cm), contendo água descolorada com (anticloro ProtecPlus®) e bombas de ar com filtros submersos, a 25 °C e pH 7.0, com ciclo circadiano (14:10h claro / escuro). Os animais receberam alimento (Spirulina®) *ad libitum* 24 horas antes das experiências. Após os experimentos, os animais foram sacrificados por imersão em água gelada (2-4 °C) por 10 minutos, até a perda de movimentos operculares (Concea, 2019).

### 2.3 Protocolo Geral

Os testes com zebrafish foram realizados baseando-se em metodologias

recomendadas por Magalhães *et al.* (2017) e sob os Princípios Éticos do Comitê do Uso de Animais da Universidade Estadual do Ceará (CEUA-UECE), sob protocolo nº 3344801/2017. No dia do experimento, os animais foram selecionados aleatoriamente, anestesiados com água fria (12 °C - 15 °C) até ficarem imobilizados por completo, transferidos para uma esponja úmida, tratados com amostras ou controles de teste ou drogas, intraperitonealmente (i.p.) (PRIYA *et al.*, 2017) ou intramuscular (i.m.). Posteriormente, eles foram colocados individualmente em placa de Petri de vidro com água do aquário. Para os tratamentos intraperitoneal (i.p.), intramuscular (i.m.) foi utilizada uma seringa de insulina (0,5 ml; UltraFine® BD) com uma agulha de calibre 30-G.

#### **2.4 Avaliação da atividade locomotora (Teste campo aberto)**

Os animais (n=6/grupo) foram tratados com AAA (0,1 ou 0,3 ou 1 mg/mL; i.p.) ou veículo (Controle, salina 0,9%; 20 µL; i.p.) ou morfina (1 mg/mL; i.p.) utilizada como controle positivo. Um grupo sem tratamentos (Naive) foi incluído. Após 30 minutos de tratamento, os animais receberam salina ácida (agonista ASICs; ácido acético 0,1% dissolvido em salina; 5,0 µL i.m) aplicado na cauda do animal. Logo após, os animais foram colocados em placa de Petri de vidro (10x15 cm), incluído a mesma água tratada do aquário, marcado com quadrantes e observado a resposta antinociceptiva pela atividade locomotora através do número de cruzamentos de linhas (CL). O valor de CL do grupo Naive foi (100%) e foi contabilizado a porcentagem de atividades locomotora (AL%) foi calculada (MAGALHÃES *et al.*, 2017).

#### **2.5 Comportamento nociceptivo induzido por solução salina**

O comportamento nociceptivo foi induzido com solução salina ácida aplicada na cauda do animal (n=6 / grupo) 30 minutos após o pré-tratamento com AAA (0,1 ou 0,3 ou 1 mg/mL; i.p.) ou veículo (Controle, salina 0,9%; 20 µL; i.p.) ou morfina (1 mg/mL; i.p.) utilizada como controle positivo. Um grupo sem tratamento (n = 6 animais). A porcentagem de atividade analgésica (A%) foi observada individualmente durante 0 - 20

minutos.

## 2.6 Análise estatística

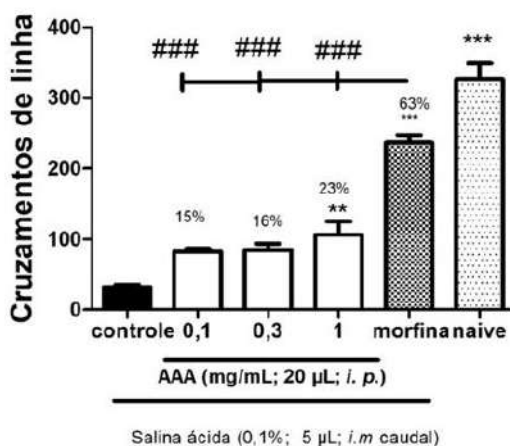
Os resultados foram expressos como valores da média  $\pm$  erro padrão da média para cada grupo de 6 animais. Depois de confirmar a normalidade de distribuição e homogeneidade dos dados, submetem-se as diferenças entre os grupos à análise de variância (ANOVA), seguido do teste de *Tukey*. As análises foram realizadas com o software GraphPad Prism v. 6.01. O nível de significância estatística foi estabelecido em 5% ( $p < 0,05$ ).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste trabalho utilizamos zebrafish como modelo para teste de nocicepção de acordo com as metodologias proposta por Magalhães *et al.* (2018). Entretanto, para avaliar o efeito do ácido acetil aleuritólico (AAA) sob a nocicepção induzida pela salina ácida (ácido acético 0,1% diluído em salina 0,9%, pH 3.8). Portanto, das concentrações testadas de AAA, somente a maior concentração (1 mg / mL) inibiu ( $p < 0,01$  vs. Controle) a nocicepção em ZFa, pois apresentou sedação de 23%. Esse efeito antinociceptivo foi consideravelmente semelhante ao efeito da morfina 63% ( $p < 0,001$  vs. Controle). De acordo com Nascimento *et al.* (2018) os estímulos nocivos são descritos pela diminuição da atividade locomotora do animal. Desta forma, observa-se que os resultados para concentrações de AAA (0,1 ou 0,3 mg / mL) teve alterações locomotoras ao comparado com o agonista morfina ( $p < 0,001$  vs. Controle).

**Figura 1 - Efeito do AAA (0,1 ou 0,3 ou 1mg/mL; *i.p*) sob a nocicepção induzida por salina ácida (agonista ASIC; 0,1% de ácido acético dissolvido em solução salina pH 3,28; 5  $\mu$ L;*i.m*), aplicada na cauda dos animais e o percentual de analgesia calculado individualmente no tempo de 0-20 min. Cada coluna representa a média  $\pm$  erros padrão da média (n=6/grupo). ANOVA unidirecional seguida de *Tukey* \*\* $p < 0,01$ , vs. Controle - salina 0,9% (20  $\mu$ L; *i.p.*) morfina**

(1mg/mL; *i.p.*) \*\*\* $p < 0,001$  vs. Controle; Naive: grupo não tratado



Fonte: Elaborado pelos autores.

#### 4 CONCLUSÕES

Nossos resultados mostram que o triterpeno ácido acetil-aleuritólico (AAA) pode atuar como antagonista dos canais ASICs (canais iônicos sensíveis a ácido). Sendo assim, novos estudos serão realizados para investigar possíveis mecanismo de ação.

#### 5 AGRADECIMENTOS

A UECE e a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio e apoio financeiro.

#### 6 REFERÊNCIAS

ABRANTE, I. A.; PRADO, B. S. do; ABRANTE, I. de A.; BATISTA, F. L. A.; AZEVEDO, D. V. de; MAGALHÃES, F. E. A. Efeito antinociceptivo do extrato etanólico dos frutos do nim em zebrafish adulto: possível participação dos canais ASICs. *Ciência Animal*. v. 29, n.1, p.75-79, 2019.

BEZERRA, A. J. N.; FERREIRA, M. K. A.; SILVA, A. W. da; LOPES, P. H. R.; BANDEIRA, P. N.; DOS SANTOS, H. S.; MAGALHÃES, F. E. A.; DE MENEZES, J. E. S. A. Evaluation of the non-clinical safety of triterpene aleuritolic acid (AAA) isolated from *Croton zehntneri*

in zebrafish (*Danio rerio*) adult. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 55932-55940, 2020.

LIMA, M. C. L.; DE ARAÚJO, J. I. F.; MOTA, C. G.; MAGALHÃES, F. E. A.; CAMPOS, A. R.; DA SILVA, P. T.; RODRIGUES, T. H. S.; MATOS, M. G. C.; DE SOUSA, K. C.; DE SOUSA, M. B.; SAKER-SAMPAIO, S.; PEREIRA, A. L.; TEIXEIRA, E. H.; DOS SANTOS, H. S. Antinociceptive Effect of the Essential Oil of *Schinus terebinthifolius* (female) Leaves on Adult Zebrafish (*Danio rerio*). **Zebrafish**, v. 17, n. 2, p. 1-8, 2020.

MAGALHÃES, F. E. A.; DE SOUSA, C. Á. P. B.; SANTOS, S. A. A. R.; MENEZES, R. B.; BATISTA, F. L. A.; ABREU, Â. O.; DE OLIVEIRA, M. V.; MOURA, L. F. W. G.; RAPOSO, R. da S.; CAMPOS, A. R. Adult zebrafish (*Danio rerio*): an alternative behavioral model of formalin-induced nociception. **Zebrafish**, v. 14, n. 5, p. 422-429, 2017.

MAGALHÃES, F. E. A.; BATISTA, F. L. A.; LIMA, L. M. G.; ABRANTE, I. de A.; BATISTA, F. L. A.; ABRANTE, I. de A.; DE ARAÚJO, J. I. F.; SANTOS, S. A. A. R.; DE OLIVEIRA, B. A.; RAPOSO, R. da S.; CAMPOS, A. R. Adult zebrafish (*Danio rerio*) as a model for the study of corneal antinociceptive compounds. **Zebrafish**, v. 15, n. 6, p. 566-574, 2018.

MELO, I. R. S.; TEIXEIRA, A. M. R.; SENA JUNIOR, D. M.; ALBUQUERQUE, M. R. J. R.; BANDEIRA, P. N.; RODRIGUES, A. S.; BRAZ-FILHO, R.; GUSMÃO, G. O. M.; SILVA, J. H.; FARIA, J. L. B.; BENTO, R. R. F. FT-Raman and FTIR-ATR spectroscopies and DFT calculations of triterpene acetyl aleuritic acid. **Journal of Molecular Structure**. v. 1058, p. 221-227, 2014.

MUSTAFINA, A. N.; KOROLEVA, K.; GINIATULLIN, R.; SITDIKOVA, G. Canais de íons sensíveis a ácidos como alvo de sulfeto de hidrogênio em neurônios trigêmeos de ratos. **BioNanoSci**. v. 6, p. 370-372, 2016.

RAJA, S. N.; CARR, D. B.; COHEN, M.; FINNERUP, N. B.; FLOR, H.; GIBSON, S.; KEEFE, F. J.; MOGIL, J. S.; RINGKAMP, M.; SLUKA, K. A.; SONG, X-J.; STEVENS, B.; SULLIVAN, M. D.; TUTELMAN, P. R.; USHIDA, T.; VADER, K. Definição revisada de dor pela Associação Internacional para o Estudo da Dor: conceitos, desafios e compromissos. **Revisão de narrativa**, 2020.

SHARMA, N. K.; RYALS, J. M.; LIU, H.; LIU, W.; WRIGHT, D. E. Acidic saline-induced primary and secondary mechanical hyperalgesia in mice **The Journal of Pain**, v. 10, n. 12, p.1 231-1241, 2009.

## EFEITO DO ANÁLOGO DO CARDANOL HIDROGENADO NO CONTROLE *IN VITRO* DO FITOPATÓGENO *LASIODIPLODIA THEOBROMAE*

Stéphany S. V. Maia<sup>\*1</sup>, Katiany do V. Abreu<sup>2</sup>, Sara N. L. de Lima<sup>3</sup>, Maria R. F. Oliveira<sup>2</sup>, Carlucio R. Alves<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Estadual de Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, \*e-mail: swellenstephany@hotmail.com.

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia.

<sup>3</sup>Graduação em Química, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia.

**RESUMO:** A castanha de caju é uma amêndoa bastante consumida e que movimenta a economia da cajucultura. A produção da amêndoa através do cozimento da castanha bruta libera o Líquido da Casca da Castanha de Caju (LCC) que possui como composição a presença de quatro compostos fenólicos principais: o cardanol, o ácido anarcádico, o metil cardol e o cardol. A modificação estrutural desses compostos vem sendo bastante estudada no desenvolvimento de biocidas. O fitopatógeno *Lasiodiplodia theobromae* (*L. theobromae*) é uma espécie de fungo que provoca necrose de galhos, folhas e fruto, e ataca o próprio cajueiro e em mais de 500 espécies de plantas, podendo causar a morte de tais espécies. Neste trabalho, avaliou-se o efeito antifúngico de um azo composto derivado da modificação estrutural do cardanol hidrogenadofrente ao *L. theobromae*. Os percentuais de inibição obtidos *in vitro* foram submetidos à análise de variância de dois fatores. O produto apresentou melhor eficiência na concentração de 1100 µg ml<sup>-1</sup> com média de inibição de 54% até 48 horas e de 23% a partir de 72 horas.

**Palavras-chave:** *Lasiodiplodia theobromae*. Azo composto. Atividade fungicida.

**ABSTRACT:** The cashew nut is an almond widely consumed and that moves the economy of cashew. The production of almonds by cooking raw nuts releases the Cashew



Nut Shell Liquid (LCC), which has as its composition the presence of four main phenolic compounds: cardanol, anarcadic acid, methyl cardol and cardol. The structural modification of these compounds has been extensively studied in the development of biocides. The phytopathogen *Lasiodiplodia theobromae* (*L. theobromae*) is a species of fungus that causes necrosis of branches, leaves and fruit, and attacks the cashew tree itself and in more than 500 species of plants, which can cause the death of such species. In this work, the antifungal effect of an azo compound derived from the structural modification of hydrogenated cardanol against *L. theobromae* was evaluated. The inhibition percentages obtained in vitro were subjected to two-way analysis of variance. The product showed better efficiency in the concentration of 1100  $\mu\text{g ml}^{-1}$  with an average inhibition of 54% up to 48 hours and 23% after 72 hours.

**Keywords:** *Lasiodiplodia theobromae*. Azo compound. Fungicidal activity.

## 1 INTRODUÇÃO

A presença de microrganismos é notada em diversos cenários no mundo, e acomete plantas e animais. O fitopatógeno *Lasiodiplodia theobromae* (*L. theobromae*) é um microrganismo que se apresenta em vegetações tropicais, pois são favorecidos pelas temperaturas de 28 °C, em média, umidade a 60% e precipitações chuvosas médias de 15 milímetros. A disseminação desse fungo é favorecida pelos pássaros, insetos e pelo homem que causam feridas nas plantas abrindo espaço para o fungo agir. A podridão é umas das principais lesões causadas por esse fungo e podem ocorrer no caule, folha, ramos e frutos, podendo até causar a morte da planta. O cajueiro é uma das 500 espécies que é acometida por esse fungo (CHEN *et al.*, 2017). Diante desse problema, a elaboração de novos compostos com potencial antifúngico que possam atuar efetivamente no combate ao *L. theobromae* vem sendo alvo de estudos para a produção de biocidas nas últimas décadas (FREIRE *et al.*, 2011). O líquido da casca da castanha de caju (LCC), um subproduto proveniente de um recurso natural, é um dos compostos que podem ser aplicados no controle do fitopatógeno. O interesse pelo uso do LCC está relacionado a sua composição heterogênea formada pelos compostos fenólicos cardanol,

cardol, metil-cardol e ácido anacárdico.

Modificações químicas na estrutura dos componentes fenólicos do LCC isolados podem potencializar o efeito fungicida. A estrutura fenólica do cardanol favorece fortemente a modificação química de sua estrutura através de substituição eletrofílica, assim torna-se uma opção viável nesse cenário (CAREY, 2011; MAHATA *et al.*, 2014). Deste modo, o presente trabalho buscou a formação de um azo-composto com base na modificação da estrutura do cardanol hidrogenado que atue como antifúngico frente ao *L. theobromae*.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram isolados 60 g de cardanol insaturado para submissão ao processo de hidrogenação catalítica. O produto sólido obtido foi submetido a um processo de cromatografia clássica líquida. As frações obtidas foram reunidas com o auxílio da técnica de cromatografia de camada delgada (CCD), e, posteriormente, concentradas sob pressão reduzida. O produto obtido é o cardanol hidrogenado, um sólido de pigmentação branca, com rendimento de 70% (55 g) e massa molar de  $304 \text{ g mol}^{-1}$ .

O cardanol hidrogenado foi adaptado para a reação com a anilina diazotizada para a obtenção do p-cardanol-azobenzeno (CAREY, 2011). A purificação do produto foi feita utilizando a técnica de precipitação, onde o p-cardanol-azobenzeno foi solubilizado em hexano e submetido a evaporação rotativa, obtendo o produto concentrado.

Em seguida, o produto foi colocado em um Becker, onde o cardanol que não reagiu precipitou ao fundo do Becker, e o sobrenadante é o produto puro. A elucidação estrutural do cardanol hidrogenado e do produto foram confirmadas através de espectros de infravermelho utilizando-se um espectrômetro PERKIM ELMER, modelo FT-IR SPECTRUM 1000 em pastilhas de KBr para análise das substâncias.

A atividade antifúngica *in vitro* frente ao *L. theobromae* foi realizada em meio ágar potato dextrose e com o auxílio de TWEEN para solubilizar o produto nas concentrações de 200, 500, 1100 e  $1400 \mu\text{g mL}^{-1}$ . Além disso, foi feito o branco com apenas ágar, e a testemunha que contou com o TWEEN. O ensaio foi realizado em triplicatas em placas de petri e as medidas dos diâmetros do halo foram realizadas nos

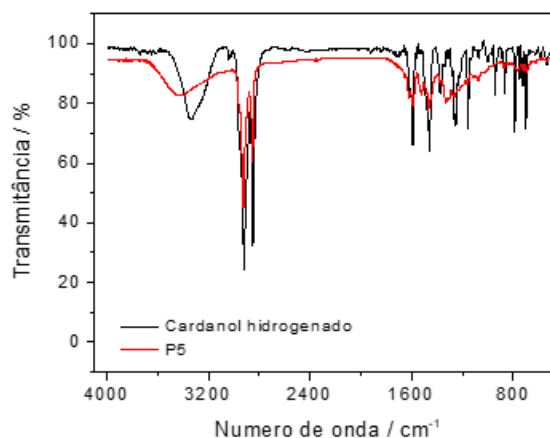
períodos de 24, 48 e 72 horas. O potencial fungicida foi avaliado pelo percentual de inibição de crescimento do fungo (PIC), calculado através da Equação 1, onde CRTE é o crescimento radial da testemunha em centímetros e CRT é o crescimento radial de tratamento em cm.

$$PIC = \frac{CRTE - CRT}{CRTE} \times 100 \quad (1)$$

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização do cardanol hidrogenado e do produto foram feitas através da técnica de FTIR onde expressou picos de absorção significativos para a distinção dos grupos funcionais presentes (Figura 1). O FTIR do cardanol hidrogenado, indicou a presença do anel aromático através das duas absorções de estiramento do anel em 1580 e 1470  $\text{cm}^{-1}$ , aproximadamente. A substituição meta do anel foi observada através de desdobramento fora do plano formado por picos em 680, 710 e 850  $\text{cm}^{-1}$ , e a confirmação desses picos ocorre na região de 1750 a 2000  $\text{cm}^{-1}$ , com absorções pequenas. A banda larga e intensa na região de 3610  $\text{cm}^{-1}$  representa a presença de fenol. A saturação da cadeia ramificada é comprovada pela ausência do estiramento C=C em 1650  $\text{cm}^{-1}$  (SILVERSTEIN; WEBSTER; KIEMLE, 2005).

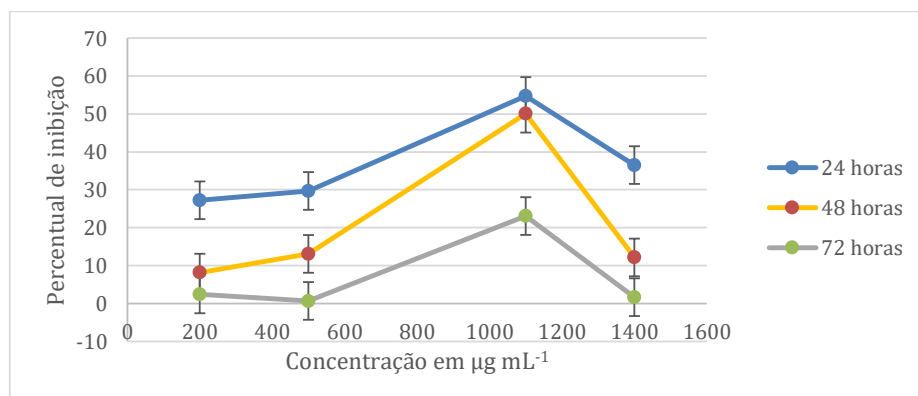
**Figura 1 - Espectro de infravermelho do cardanol hidrogenado e seu análogo**



Fonte: Elaborado pelos autores.

O FTIR do produto apresentou todos os picos do cardanol hidrogenado, porém com menor intensidade. Além disso, o aparecimento de um estiramento C-N de pequena intensidade em, aproximadamente,  $1250\text{ cm}^{-1}$ , indica a formação da ligação azo no composto (SILVERSTEIN; WEBSTER; KIEMLE, 2005). Os percentuais médios do azo composto obtido frente ao *L. theobramae* utilizado as medias de cada concentração. As médias comparadas indicaram que, em todos os tempos, as concentrações de  $200\text{ }\mu\text{g mL}^{-1}$ ,  $500\text{ }\mu\text{g mL}^{-1}$  e  $1400\text{ }\mu\text{g mL}^{-1}$  obtiveram resultados semelhantes, e que a concentração de  $1100\text{ }\mu\text{g mL}^{-1}$  obteve melhor desempenho,  $54,72\%$ ,  $50,05\%$  e  $23,07\%$ , para os tempos respectivos de 24, 48 e 72 horas. A análise do desempenho individual de cada concentração indicou que as concentrações  $200\text{ }\mu\text{g mL}^{-1}$ ,  $500\text{ }\mu\text{g mL}^{-1}$  e  $1400\text{ }\mu\text{g mL}^{-1}$  tiveram decaimento durante todos os tempos e a concentração de  $1100\text{ }\mu\text{g mL}^{-1}$  obteve potencial de inibição constante até 48 horas, depois apresentou decaimento significativo para  $23,01\%$  em 72 horas (Gráfico 1).

**Gráfico 1 - Percentual médio de inibição de crescimento do análogo frente ao *L. theobramae***



Fonte: Elaborado pelos autores.

#### 4 CONCLUSÕES

Conforme o que foi analisado e argumentado através das análises estatísticas foi possível determinar que a melhor concentração para utilização do produto é de  $1100\text{ }\mu\text{g mL}^{-1}$  em todos os tempos estudados, com percentual de inibição  $54,27\%$  frente ao *L.*

*theobromae*. Perspectivas futuras com testes *in vivo* confirmarão sua viabilidade no controle do fitopatógeno.

## 5 AGRADECIMENTOS

Agradeço a UECE, ao SisNaBio e as instituições de apoio FUNCAP, FINEP e CAPES.

## 6 REFERÊNCIAS

CAREY, F. A. **Química Orgânica volume 2**. 7 ed. São Paulo: AMGH Editó, 2011. 764 p.

CHEN, S.; LIU, Z.; LIU, H.; LONG, Y.; CHEN, D.; LU, Y.; SHE, Z. Lasiodiplactone A, a novel lactone from the mangrove endophytic fungus *Lasiodiplodia theobromae* ZJ-HQ1. **Organic and Biomolecular Chemistry**, v. 15, n. 30, p. 6338–6341, 2017.

FREIRE, F. DAS C. O.; DANTAS, J. D. P.; ALVES, C. R.; GUEDES, M. I. F. Desenvolvimento e Eficiência de um Fungicida Triazol a partir do Líquido da Casca da Castanha (LCC) do Cajueiro. **Comunicado Técnico Embrapa**, v. 178, n. 1679–6535, p. 1–5, 2011.

MAHATA, D.; MANDAL, S. M.; BHARTI, R.; GUPTA, V. K.; MANDAL, M.; NAG, A.; NANDO, G. B. Self-assembled cardanol azo derivatives as antifungal agent with chitin-binding ability. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 69, p. 5–11, 2014.

SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X.; KIEMLE, D. J. **Silverstein - Spectrometric Identification of Organic Compounds**. 7 th ed. United States: John Wiley & Sons, INC, 2005. 550 p.

## EFFECT OF pH ON THE SIMULTANEOUS SORPTION OF Cr(III) AND Cr(VI) BY MAGNETIC NANOMODIFIED LETTUCE ROOTS IN AQUEOUS MEDIUM

Letícia Gabriel\*<sup>1</sup>, Beatriz C. Soares<sup>1</sup>, Gabriela Z. Beretta<sup>1</sup>, Thaís E. Abilio<sup>1</sup>, Geórgia  
Labuto<sup>2</sup>, Elma N. V. M. Carrilho<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Laboratory of Polymeric Materials and Biosorbents, Federal University of São Carlos, Araras, SP, Brazil, \*e-mail: leticiagabriel@estudante.ufscar.br.

<sup>2</sup>Chemistry Department, Federal University of São Paulo.

<sup>3</sup>Department of Natural Science, Mathematics and Education, Federal University of São Carlos.

**RESUMO:** O descarte incorreto de efluentes industriais contendo metais potencialmente tóxicos podem trazer consequências ao meio ambiente e aos seres humanos. Dentre estes poluentes encontra-se o cromo, um metal cujas espécies mais comuns são o Cr(III) e Cr(VI), que embora raramente seja encontrado na natureza na forma hexavalente, tem contaminado efluentes devido a ações antropogênicas como o descarte industrial incorreto. Este trabalho realiza um estudo do efeito do pH na remediação de matrizes aquosas empregando raiz de alface *in natura* (LR) e nanomodificada com magnetita (LR-NP) como materiais biossorbentes na remoção simultânea de Cr(III) e Cr(VI). A biomassa de LR a ser utilizada foi previamente preparada e caracterizada por FTIR, DRX e MEV. Para avaliação dos melhores parâmetros do processo de biossorção foram realizados testes de pH baseados na determinação dos valores de  $pH_{PZC}$  das espécies Cr(III) e Cr(VI), individual e simultaneamente. Os valores ótimos de pH de sorção obtidos dentro da faixa de 1 a 6 foram de 6 para o Cr(III), 1 para o Cr(VI), e 2 para a remoção simultânea destes íons.

**Palavras-chave:** Biossorção. Cromo. Nanopartículas magnéticas.

**ABSTRACT:** The incorrect disposal of industrial effluents containing potentially toxic metals is of great concern for the environment and humans. Among these pollutants

chromium is a metal present most commonly as Cr(III) and Cr(VI). Although rarely found in nature in its hexavalent form, it has been contaminating effluents due to anthropogenic actions such as incorrect disposal of industrial setting. This work conducts a study of the effect of pH on the remediation of aqueous matrices using *in natura* (LR) and nanomodified (LR-NP) lettuce as a biosorbent material in the simultaneous removal of Cr(III) and Cr(VI) species. The lettuce root biomass to be used was previously prepared and characterized by FTIR, DRX and SEM. To evaluate the best parameters of the individual and simultaneous sorption of Cr(III) and Cr(VI) species, pH tests were performed based on the  $pH_{PZC}$ . The optimal pH values obtained within the range of 1 to 6 established by the  $pH_{PZC}$  were 6 for Cr(III), 1 for Cr(VI), and 2 for the simultaneous removal testes.

**Keywords:** Biosorption. Chromium. Magnetite nanoparticles.

## 1 INTRODUCTION

The treatment of water and effluents to remove potentially toxic metal ions, such as hexavalent chromium, is a process of increasing importance, because with industrial growth and the exploitation of natural resources, a great demand for environmental problems has been caused by inappropriate waste disposal (JOBBY *et al.*, 2018).

Chromium is a transition metal found in various oxidation states depending on the pH of the medium, and the species Cr(III) and Cr(VI) are the most common and stable (COSTA *et al.*, 2017; JOBBY *et al.*, 2018). Chromium(III) is considered an essential metal, however, in high concentrations it can be harmful to biological activities (COSTA *et al.*, 2017), and Cr(VI) is not commonly found in nature, but can be derived from industrial processes with improper disposal of residues from industries, generating high toxicity, and is considered quite aggressive to the environment (CONCEIÇÃO *et al.*, 2014; JOBBY *et al.*, 2018).

One of the most viable processes for removing potentially toxic metals in aqueous matrices is biosorption, a highly efficient process that consists of the adsorption

of contaminants through the use of biomass that can be derived from agricultural activities and several types of biological waste (MILANI *et al.*, 2018; LABUTO; CARRILHO, 2016). In the biosorption technique, the interaction between adsorbate and adsorbent occurs by a passive process, in which there are physical-chemical interactions between the analytes and the functional groups present on the surface of the biosorbent (COLLA *et al.*, 2014). The present work proposes the use of the hydroponic lettuce by-product with the use of ferromagnetic nanoparticles ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) to remove the Cr(III) and Cr(VI) species in an aqueous medium, aiming at the remediation of water and effluents.

## 2 MATERIALS AND METHODS

### 2.1 Preparation of biomass, synthesis of ferromagnetic nanoparticles (NP) and impregnation in biomass.

The hydroponic lettuce roots (LR) samples were collected and washed to remove solid residues. This material was then dried in an oven, ground in a rotor mill, sieved and stored. The synthesis of magnetite nanoparticles was carried out using the coprecipitation method, in which Fe(II) and Fe(III) salts, in an acidic medium, were titrated with  $\text{NH}_4\text{OH}$  solution, under constant agitation. Successively, LR was added to the suspension containing synthesized magnetite, and kept under constant agitation, at 80 °C. The material produced was washed with ethanol, dried in an oven, and macerated.

### 2.2 Determination of pH at point of zero charge ( $\text{pH}_{\text{PZC}}$ )

In the  $\text{pH}_{\text{PZC}}$  test, NaCl solution was used at initial pH values ranging from 2-12, which was adjusted with HCl or NaOH. To this solution, 100 mg of SB or SB-NP were added under constant stirring for 24h. The pH value corresponding to the  $\text{pH}_{\text{PZC}}$  was determined by the graphical representation of the initial pH variation as a function of the final pH.

### 2.3 Sorption pH



Monoelement and bielement solutions of 10 mg/L of Cr(III) and Cr(VI) were adjusted to the desired pH using 0.1 mol/L HCl or NaOH. These solutions were mixed with 100 mg of the biosorbent and the suspensions were kept under constant agitation at 185 rpm for 10 minutes. The supernatants from LR and LR-NP was collected with the aid of a pipette and a neodymium magnet, respectively, to be analyzed by Flame Atomic Absorption Spectrometry (FAAS).

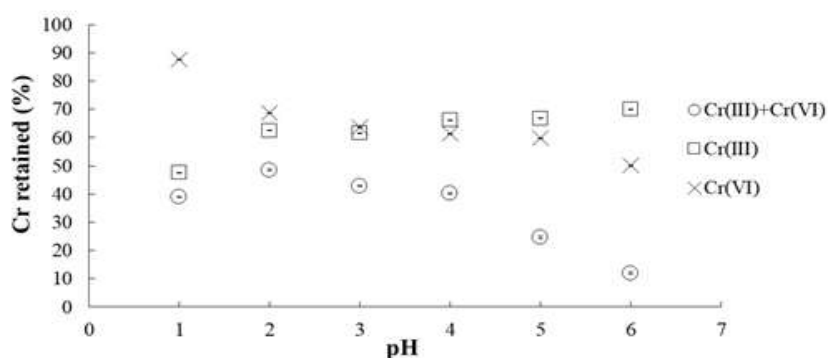
### 3 RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1 Sorption pH and $pH_{PZC}$

The best pH range for sorption was assessed after determining the  $pH_{PZC}$ , which were 5.96 and 6.5 for LR and LR-NP, respectively. In aqueous solutions with a pH below  $pH_{PZC}$ , the material is positively charged, and indicates that sorption of anionic analyte will occur, while the reverse occurs if the material is exposed to a value higher than  $pH_{PZC}$  where the material is negatively charged (NASCIMENTO *et al.*, 2014). Thus, the studied pH range used in the sorption pH assessment was 1 to 6. The procedure for determining the effect of the sorption pH was carried out in chromium (III) and chromium (VI) solutions separately and simultaneously, in order to perceive the variation of sorption in the pH values for each of these conditions.

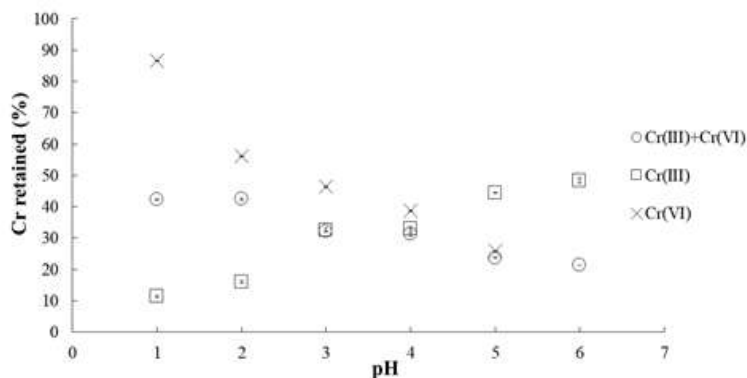
The best sorption pH for Cr(III) and Cr(VI) monoelement solutions were 6 and 1, respectively. This can be explained due to the choice of a pH range lower than  $pH_{PZC}$  so lower pH will favor the sorption of anionic species, such as Cr(VI), whose hydrolysis produces only neutral or anionic species, obtaining better sorption at pH 1; and higher pH will favor the sorption of cationic species, such as Cr(III), whose best sorption pH was 6. In the simultaneous sorption assessment, best results were achieved at pH 2, which can be explained due to the influence of the solution pH on chromium speciation. At pH values close to that obtained, the species of Cr(VI) present in the solution are  $HCrO_4^-$  and  $Cr_2O_7^{2+}$ , while Cr(III) prevails in the free form of  $Cr^{3+}$  until pH 2, where its molar fraction begins to decrease, and to increase the concentration of  $CrOH^{2+}$  (PINA, 2011), the most favorable point of simultaneous sorption of species.

**Figure 1 – Effect of pH on the removal capacity of Cr(VI) and Cr(III) by *in natura* (LR), using 10 g/L dosage of LR with 10 mg/L Cr(VI) solution**



Fonte: Elaborado pelos autores.

**Figure 2 – Effect of pH on the removal capacity of Cr(VI) and Cr(III) by nanomodified lettuce roots (LR-NP), using 10 g/L dosage of LR-NP with 10 mg/L Cr(VI) solution**



Fonte: Elaborado pelos autores.

#### 4 CONCLUSION

In the assessment of pH effect on the sorption of Cr(III) and Cr(VI) a process of oxidation and reduction between Cr(III) and Cr(VI) was observed, as reported in the literature. The best sorption pH of Cr(III) and Cr(VI) was 6 and 1, respectively. However, when simultaneous sorption was performed, the best sorption was found at pH 2 for both

species, which can be explained by the different oxidation states that chromium assumes depending on the pH of the medium. The percentage of Cr retention in the best pH conditions was around 50 to 80% with Cr(VI) exhibiting the best adsorption results. Therefore, these adsorbents are promising materials for Cr sorption in aqueous medium.

## 5 ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq (166783/2019-6) for the financial support provided.

## 6 REFERÊNCIAS

COLLA, M. L.; ROSSI, A. D.; DEON, M. C.; DAL'MAGRO, C.; REINEHR, C.O.; Biossorção de cromo hexavalente de efluente utilizando resíduos agroindustriais fermentados por cepas de *aspergillus*. **Ciência & Engenharia**, v. 23, n. 2, p.67–74, 2014.

CONCEIÇÃO, J. D. C.; RAMOS, V. H. S.; JESUS, E. D.; SILVA, A.; COSTA, A. W. Biosorption of Cr(VI) from Aqueous Solutions Using Chemically Modified Okra Powder. **Journal of Basic & Applied Sciences**, v. 10, p.73–79, 2014.

COSTA, D. A.; MENDONÇA, H. R.; WYSARD, M. M. Avaliação da remoção de cromo (III) por materiais compósitos porosos adsorventes de PE-g-MA, fibra de coco e quitosana, usando planejamento experimental. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 6, p. 1203-1213, 2017.

JOBBY, R.; JHA, P.; YADAV, A. K.; DESAI, N. Biosorption and biotransformation of hexavalent chromium [Cr(VI)]: A comprehensive review. **Chemosphere**, v. 207, p. 255–266, 2018.

LABUTO, G.; CARRILHO, E. N. V. M. **Bioremediation in Brazil: challenges to improve the development and application to boost up the bioeconomy**. In: PRASAD, M. N. V. *Bioremediation and Bioeconomy*. Elsevier, 2016. p. 569-586.

MILANI, P. A.; DEBS, K. B.; LABUTO, G.; CARRILHO, E. N. V. M. Agricultural solid waste for sorption of metal ions: part I-characterization and use of lettuce roots and sugarcane bagasse for Cu(II), Fe(II), Zn(II), and Mn(II) sorption from aqueous medium. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 36, p. 1-11, 2018.

NASCIMENTO, R. F.; LIMA, A. C. A.; VIDAL, C. B.; MELO, D. de Q.; RAULINO, G. S. C. **Adsorção: aspectos teóricos e aplicações ambientais**. E-book. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2014. 256 p.

## ELETROCOAGULAÇÃO COM ANODOS DE ALUMÍNIO E AÇO DE LIXIVIADO SINTÉTICO DE ATERRO SANITÁRIO

Carlos D. Gamarra-Güere\*<sup>1</sup>, Artur J. Motheo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Química, Instituto de Química São Carlos, Universidade de São Paulo, \*e-mail: carlosgamarra@usp.br.

**RESUMO:** Após a coleta dos resíduos sólidos domésticos, estes são armazenados em aterros sanitários municipais, onde passam por um processo de liquefação resultante da decomposição, o qual associado à umidade do meio ambiente gera o chorume. Este lixiviado possui uma composição complexa composta por contaminantes orgânicos, inorgânicos e microbianos de difícil degradação, que, se atingirem o solo ou corpos aquáticos, podem contaminá-los. Dentre os inúmeros esforços e técnicas para degradar esse lixiviado, além dos processos convencionais (biológicos), os tratamentos eletroquímicos têm se destacado como alternativa nos últimos anos. Assim, o presente estudo tem como objetivo avaliar a eficiência da eletrocoagulação (ânodos de alumínio e aço) do lixiviado de aterro sintético, ou seja, avaliar a eficiência da mineralização da carga orgânica e remoção da demanda química de oxigênio, modificando os parâmetros que afetam o processo de eletrocoagulação. Os parâmetros estudados foram a densidade de corrente aplicada ao sistema, a vazão da bomba peristáltica e o pH.

**Palavras-chave:** Eletrocoagulação. Alumínio. Aço. Lixiviado. Aterro sanitário.

**ABSTRACT:** After the collection of domestic solid waste, it is stored in municipal sanitary landfills, where it undergoes a liquefaction process resulting from the decomposition, which associated with the humidity of the environment generates the leachate. This leachate has a complex composition composed of organic, inorganic and microbial contaminants of difficult degradation, which, if they reach the soil or aquatic bodies, can contaminate them. Among the countless efforts and techniques to degrade this leachate, in addition to conventional (biological) processes, electrochemical treatments have stood

out as an alternative in recent years. Thus, the present study aims to evaluate the efficiency of electrocoagulation (aluminum and steel anodes) of the synthetic landfill leachate, that is, to evaluate the efficiency of the mineralization of the organic load and removal of the chemical oxygen demand, modifying the parameters that affect the electrocoagulation process. The studied parameters were the current density applied to the system, the flow rate of the peristaltic pump and the pH.

**Keywords:** Electrocoagulation. Aluminum. Steel. Landfill leachate.

## 1 INTRODUÇÃO

A extensão dos setores industriais, comerciais e o enorme consumo de produtos como consequência do alto padrão de vida, leva à geração de uma crescente quantidade de resíduos sólidos nos últimos anos (ASAITHAMBI *et al.*, 2018), onde os municípios das cidades gerenciam os resíduos nos aterro sanitários (DENG; ENGLEHARDT, 2006). Os contaminantes dos aterros sanitários geram o lixiviado, com alta concentração de carga orgânica, tóxica e complexa: ácidos húmicos, pesticidas, produtos farmacêuticos, amônia, sulfatos, fosfatos, cloretos, cátions metálicos, sólidos suspensos e compostos aromáticos (MANDAL; DUBEY; GUPTA, 2017).

Os lixiviados são um problema ambiental, devido aos seus efeitos tóxicos para a saúde humana e vida silvestre se atingem por meio da descarga de efluentes (SPERLING; CHERNICHARO, 2002). Várias alternativas têm sido consideradas para o tratamento de lixiviados de aterro sanitário dentre as quais se destacam (RENOU *et al.*, 2008): as convencionais biológicas, muitas das alternativas físico-químicas (KURNIAWAN; LO; CHAN, 2006), adsorção (HUDA *et al.*, 2017), osmose reversa (XU *et al.*, 2018), coagulação (AMOR *et al.*, 2015) e processos oxidativos avançados (DERCO *et al.*, 2010). A eletrocoagulação é uma opção para o tratamento de lixiviados, porque é eco amigável e custo-benefício efetivo (ILHAN *et al.*, 2008). Mediante a formação de coágulos *in-situ* através de um ânodo de sacrifício (alumínio ou de ferro) no reator eletroquímico (BOUHEZILA *et al.*, 2011). Os íons metálicos são convertidos em hidróxidos, gerando-se coágulos, chegando na sedimentação com precipitados de

contaminantes (ASAITHAMBI *et al.*, 2018).

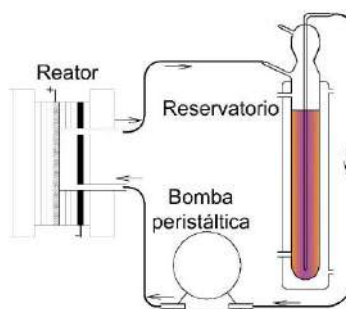
Assim o objetivo principal do presente trabalho foi determinar a eficiência, aplicabilidade, custo energético do processo de eletrocoagulação.

Para tal foi necessário o estabelecimento das melhores condições operacionais em escala de bancada no laboratório, tais como, densidade de corrente aplicada, íons em solução, pH inicial, tempo de reação e área de superfície ativa que afetam a eficiência da remoção de contaminantes do lixiviado.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Usou-se o lixiviado sintético modelo baseado no autor Kaur *et al.* (2005), para assim realizar todos os experimentos com reprodutibilidade e repetitividade (420 mg L<sup>-1</sup> de DQO, pH 7,25). Foi preparado com água ultrapura os reagentes: fenol, tolueno, ácido acético, ácido propiónico, ácido húmico, benzeno, ácido ftálico, ácido benzoico, 2,4-Diclorofenol, 1,2,4-triclorofenol, NaCl, KCl, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>, NaNO<sub>3</sub>.

**Figura 1 - ConFiguração experimental adaptado para o sistema de eletrocoagulação**



Fonte: Malpass *et al.* (2010).

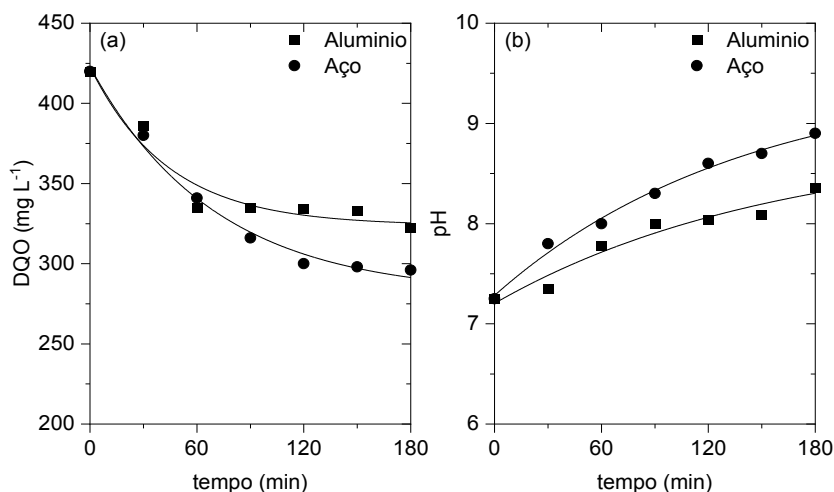
A configuração experimental do sistema de eletrocoagulação, foi conduzida com recirculação fluxo de bomba peristáltica de 500 mL min<sup>-1</sup>, um reservatório de vidro de 500 mL e um reator tipo prensa: ânodo de alumínio ou aço de área de 15 cm<sup>2</sup>, com um potenciostato que forneceu corrente elétrica. Apresentado na Figura 1. Os métodos analíticos usados foram: análises de pH, análises de DQO e análises dos espectros de

Absorção UV-Vis das amostras de lixiviado.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

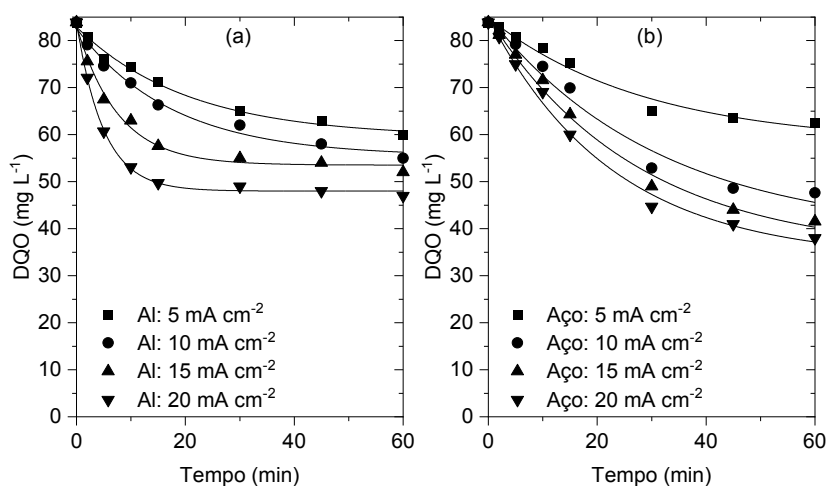
A eletrocoagulação com  $20 \text{ mA cm}^{-2}$  com anodo de alumínio e anodo de aço para o lixiviado sintético de DQO inicial de  $420 \text{ mg L}^{-1}$ . Nas análises na Figura 2(a). A curva de decaimento de DQO indica que para os 180 min se tem uma remoção de DQO de 23% e 29% para o anodo de alumínio e aço respectivamente. Em todo o tempo de tratamento de observou-se um aumento do volume de espuma e precipitados. A evolução do pH apresentada na Figura 2(b) indica que o pH aumentou no tempo que se fez a eletrocoagulação por isso se percebe a formação de hidróxidos de alumínio e de ferro. Quando o tempo de eletrolise aumenta, a geração de bolhas também aumentou.

**Figura 2 - Variação de DQO (a) e pH (b) em função de tempo de eletrocoagulação para eletrodo de alumínio (■) e aço (●).  $j = 20 \text{ mA cm}^{-2}$ , DQO inicial:  $420 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $\text{pHi}=7,25$**



Fonte: Elaborado pelos autores.

**Figura 3 - Variação de DQO para eletrodo de alumínio (a) e aço (b) em função de tempo de eletrocoagulação. Densidade de corrente: (■)5, (●)10, (▲)15 e (▼)20 mA cm<sup>-2</sup>. DQO inicial: 83,9 mg L<sup>-1</sup>, pH<sub>i</sub> = 6,85**



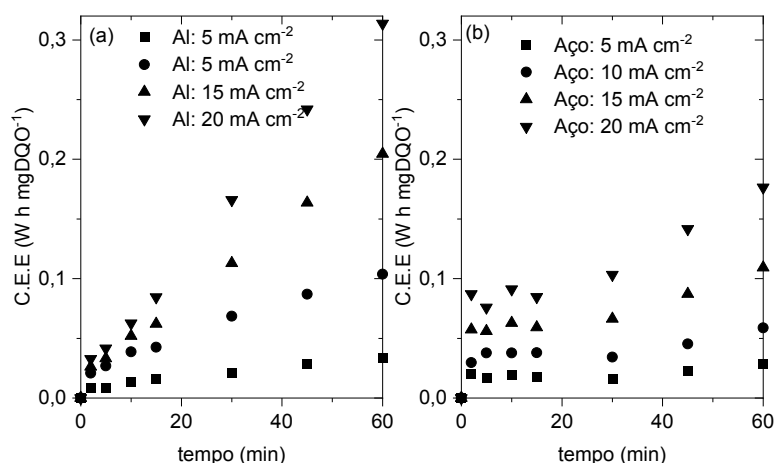
Fonte: Elaborado pelos autores.

No caso de uma eletrocoagulação de lixiviado de menor concentração de 83,9 mg L<sup>-1</sup> de DQO, aplicando diferentes densidades de corrente para estudar o efeito na eletrocoagulação como é apresentado na Figura 3(a), como esperado mostra que o aumento da densidade de corrente leva a um decréscimo do valor de DQO e aparição de lodo de hidróxido de alumínio, e para os valores de densidade de corrente de 15 e 20 mA cm<sup>-2</sup> as curvas atingem estabilização acima de 15 minutos de processo.

No caso dos resultados de eletrocoagulação com eletrodo de ferro apresentado na Figura 3(b), a formando hidróxidos de ferro que podem coagular a matéria orgânica presente no lixiviado seguindo a tendência de aumento de densidade de corrente com o tempo aumenta a remoção de DQO, mas tem um limite pelo conteúdo de matéria orgânica particulada. Além disso, a taxa de geração de bolhas aumenta, resultando em uma remoção mais rápida de poluentes por flotação de H<sub>2</sub>. É possível observar a maior remoção de DQO corresponde para 20 mA cm<sup>-2</sup> nos primeiros 60 minutos.



**Figura 4 - Consumo energético específico na eletrocoagulação com ânodo de alumínio (a) e aço (b) para diferentes densidades de corrente: (■)5, (●)10, (▲)15 e (▼)20 mA cm<sup>-2</sup>**



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados do consumo energético específico usados para fazer a eletrocoagulação são amostrados na Figura 4(a) para a eletrocoagulação usando eletrodos de alumínio e na Figura 4(b) para eletrodos de aço. A maior tempo de tratamento aumenta o C.E.E, por que se tem gasto de energia, mas a queda de DQO não é considerável depois de 30 minutos.

#### 4 CONCLUSÕES

A eletrocoagulação foi um método de tratamento de lixiviado que demonstrou uma eficiência: para lixiviado de 420 mg L<sup>-1</sup> de DQO usando 20 mA cm<sup>-2</sup> em 180 min se obteve 23% e 29% de remoção de DQO usando anodos de alumínio e aço respectivamente. Para o caso de lixiviado de 83,9 mg L<sup>-1</sup> de DQO usando 20 mA cm<sup>-2</sup>, porque foi melhor para cada eletrodo, em 60 min se obteve 43,9% e 54,7% de remoção de DQO usando anodos de alumínio e aço respectivamente.

## 5 AGRADECIMENTOS

Ao apoio financeiro de órgãos brasileiros: CAPES [PROEX 1809285 / 2018-10]; CNPq [160590 / 2019-1]; FAPESP [2017 / 10118-0 e 2017 / 20444-1].

## 6 REFERÊNCIAS

AMOR, C.; TORRES-SOCÍAS, E. de; PERES, J. A.; MALDONADO, M. I.; OLLER, I.; MALATO, S.; LUCAS, M. S. Mature landfill leachate treatment by coagulation/flocculation combined with Fenton and solar photo-Fenton processes. **Journal of Hazardous Materials**, v. 286, p. 261–268, 2015.

ASAITHAMBI, P.; BEYENE, D.; AZIZ, A. R. A.; ALEMAYEHU, E. Removal of pollutants with determination of power consumption from landfill leachate wastewater using an electrocoagulation process: optimization using response surface methodology (RSM). **Applied Water Science**, v. 8, n. 2, p. 1–12, 2018.

BOUHEZILA, F.; HARITI, M.; LOUNICI, H.; MAMERI, N. Treatment of the OUED SMAR town landfill leachate by an electrochemical reactor. **Desalination**, v. 280, n. 1-3, p. 347–353, 2011.

DENG, Y.; ENGLEHARDT, J. D. Treatment of landfill leachate by the Fenton process. **Water Research**, v. 40, n. 20, p. 3683–3694, 2006.

DERCO, J.; GOTVAJN, A. Ž.; ZAGORC-KONČAN, J.; ALMÁSIOVÁ, B.; KASSAI, A. Pretreatment of landfill leachate by chemical oxidation processes. **Chemical Papers**, v. 64, n. 2, p. 237–245, 2010.

HUDA, N.; RAMAN, A. A. A.; BELLO, M. M.; RAMESH, S. Electrocoagulation treatment of raw landfill leachate using iron-based electrodes: Effects of process parameters and optimization. **Journal of Environmental Management**, v. 204, p. 75–81, 2017.

ILHAN, F.; KURT, U.; APAYDIN, O.; GONULLU, M. T. Treatment of leachate by electrocoagulation using aluminum and iron electrodes. **Journal of Hazardous Materials**, v. 154, n. 1, p. 381–389, 2008.

KAUR, K.; CHURCHLEY, J.; KANDHOLA, N. J. Development of an electrochemical oxidation process for the treatment of landfill leachates. **Water and Environment Journal**, v. 19, n. 4, p. 384–393, 2005.

KURNIAWAN, T. A.; LO, W. H.; CHAN, G. Y. S. Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. **Journal of Hazardous Materials**, v. 129, n. 1, p. 80–100, 2006.

MALPASS, G. R. P.; MIWA, D. W.; MACHADO, S. A. S.; MOTHEO, A. J. SnO<sub>2</sub>-based materials for pesticide degradation. **Journal of Hazardous Materials**, v. 180, n. 1, p. 145–151, 2010.



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS NATURAIS

MANDAL, P.; DUBEY, B. K.; GUPTA, A. K. Review on landfill leachate treatment by electrochemical oxidation: Drawbacks, challenges and future scope. **Waste Management**, v. 69, p. 250–273, 2017.

RENOU, S.; GIVAUDAN, J. G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F.; MOULIN, P. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. **Journal of Hazardous Materials**, v. 150, n. 3, p. 468–493, 2008.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. de L. Urban wastewater treatment technologies and the implementation of discharge standards in developing countries. **Urban Water**, v. 4, p. 105–114, 2002.

XU, D.; LI, Y.; YIN, L.; JI, Y.; NIU, J.; YU, Y. Electrochemical removal of nitrate in industrial wastewater. **Frontiers of Environmental Science & Engineering**, v. 12, n. 1, p. 1–14, 2018.

## ESTUDO DA COMBUSTÃO CATALÍTICA DE GLP EM QUEIMADOR POROSO CONTENDO PEROVSKITAS

Kelly L. Oliveira<sup>\*1</sup>, Marcos Y. F. S. Moraes<sup>2</sup>, Livia M. A. Araújo<sup>2</sup>, Daniel S. Serra<sup>2</sup>,  
Rita K. C. Lima<sup>3</sup>, Mona L. M. Oliveira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Estadual do Ceará, \*e-mail: kelly.oliveira@aluno.uece.br.

<sup>2</sup>Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia.

<sup>3</sup>Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

**RESUMO:** A combustão em meios porosos tem sido uma alternativa promissora devido à redução de poluentes durante a combustão de combustíveis fósseis. O trabalho tem como objetivo avaliar a combustão de GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) em um queimador poroso contendo fase catalítica de perovskita impregnadas em esferas de aluminas ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Foram feitas análises de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) nas amostras. A combustão do GLP foi estudada e os parâmetros do processo analisados em meio inerte e catalítico. Os resultados mostraram uma temperatura máxima do queimador de aproximadamente 1018 °C em meio catalítico. O queimador teve uma eficiência total máxima de 94,31% no leito catalítico. A potência do queimador encontrada foi 0,31 kW. Foi observado a redução das emissões de CO (58%) e NO (87%) na razão de equivalência ( $\phi$ ) 0,7. Temperaturas são alcançadas com maiores eficiências e menores emissões de poluentes no processo de combustão com o uso de perovskitas.

**Palavras-chave:** Combustão. Perovskita. Emissão de poluentes.

**ABSTRACT:** Combustion in porous media was a promising alternative due to the reduction of pollutants during the combustion of fossil fuels. The work aims to evaluate a combustion of LPG (Liquefied Petroleum Gas) in a porous burner containing perovskite catalytic phase impregnated in alumina spheres ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Fourier transform infrared

spectroscopy (FTIR) analyzes were performed on the. A stainless steel burner was made containing a quartz window to visualize the flame behavior. The combustion of LPG was studied and the parameters of the promotion process in the middle of the inert and catalytic. The results induced at a maximum burner temperature of approximately 1018°C in catalytic medium. The burner had a maximum total efficiency of 94,31% without catalytic bed. The burner power found was 0,31 kW. A reduction in CO (58%) and NO (87%) losses was observed in the equivalence ratio ( $\phi$ ) 0,7. Temperatures are achieved with greater efficiencies and less pollutant data in the combustion process with the use of perovskites.

**Keywords:** Combustion. Perovskite. Pollutant emission.

## 1 INTRODUÇÃO

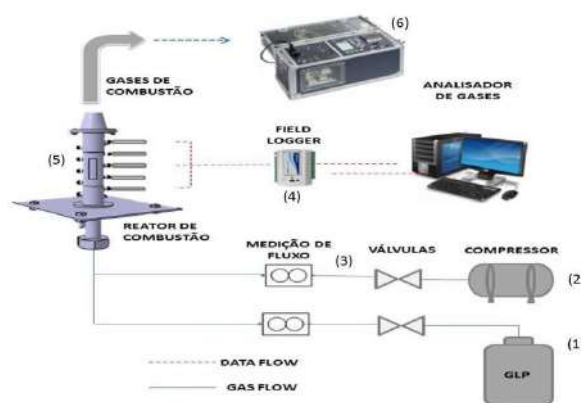
Os queimadores porosos vêm sendo utilizados pois, possuem alta eficiência, alta capacidade e condutividade térmica, baixa emissão de poluentes permitindo obter temperaturas elevadas com o uso de combustíveis de baixo poder calorífico e misturas pobres (maior quantidade de ar na relação ar/combustível) (ARARUNA *et al.*, 2013; JANVEKAR *et al.*, 2018; MUJEEBU *et al.*, 2009; ROBAYO *et al.*, 2014). Na matriz porosa desses queimadores são utilizados materiais como a Alumina ( $Al_2O_3$ ) com uma alta estabilidade térmica e baixo custo onde ocorre a recirculação de calor. Também, na superfície dessa matriz porosa pode ser impregnado catalisadores. Pois, aumenta a estabilidade da chama e controla a localização da chama dentro da matriz porosa (GAO *et al.*, 2014; PEREIRA, 2002; ROBAYO *et al.*, 2014).

As perovskitas se destacam devido sua atividade catalítica promissora, pois possuem uma alta estabilidade térmica (ROBAYO *et al.*, 2014; LIMA, 2008). Diante disso, no estudo foi avaliado a combustão catalítica na combustão do GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) em queimador poroso radiante contendo a fase catalítica a base de perovskitas, impregnadas em esferas de alumina ( $Al_2O_3$ ), para determinar eficiências do processo de combustão, analisar perfis de temperatura em meio inerte e catalítico, bem como estudar as reduções de emissões dos poluentes após a combustão.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A bancada experimental para os testes de combustão em meios porosos foi montada no LAIS (Laboratórios Associados de Inovação e Sustentabilidade) da Universidade Estadual do Ceará. Foi utilizado um queimador cilíndrico em aço inox, com dimensões de 15,0 cm de altura e 3,2 cm de diâmetro, contendo um visor de quartzo na parte central do queimador (Ver Figura 1).

Figura 1 - Esquema da bancada experimental



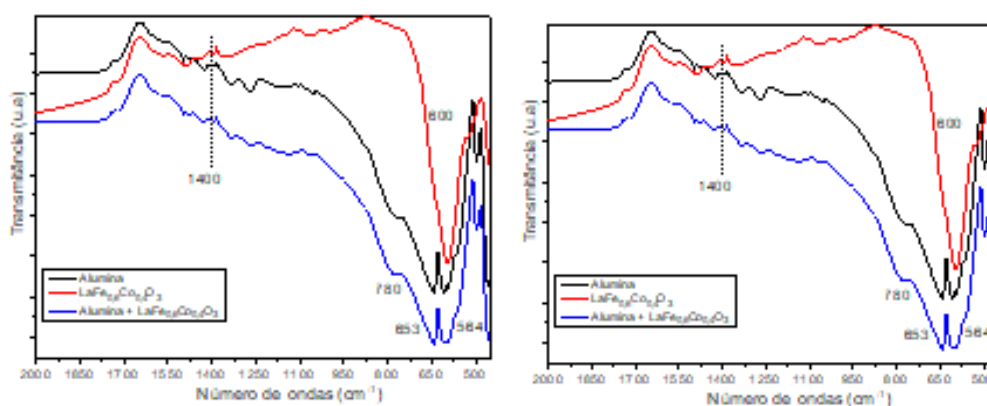
Os ensaios de combustão foram feitos nas razões de equivalências ( $\phi$ ) 1,0; 0,9; 0,8 e 0,7. As perovskitas utilizadas foram do tipo  $\text{LaFe}_{0,6}\text{Co}_{0,4}\text{O}_3$  e  $\text{LaCoO}_3$ , na qual foram sintetizados de acordo com a metodologia (LIMA, 2008). O material obtido passa por um processo de impregnação úmida nas esferas de (3,5 e 6,5 mm) de alumina, o processo é realizado com os dois tipos de perovskitas.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram feitas análises de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) nas amostras. Os compostos com estrutura perovskita ortorrômbica apresentam uma banda bem definida em torno de  $660\text{ cm}^{-1}$ , devido à deformação do octaedro (LIMA, 2008). Conforme a Figura 2 tem-se bandas de absorção em torno de

1400  $\text{cm}^{-1}$  correspondeu ao íon nitrato. A banda de absorção a aproximadamente 600  $\text{cm}^{-1}$  é atribuída às vibrações de estiramento de M-O (onde M= metal incorporado) na estrutura da perovskitas. As bandas em torno de 564  $\text{cm}^{-1}$  e 653  $\text{cm}^{-1}$  são características de picos tipo  $\text{La}_2\text{O}_3$  (MISHRA; PRASAD, 2017).

**Figura 2 - (a) Espectros de IV de Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) impregnada com  $\text{LaFe}_{0,6}\text{Co}_{0,4}\text{O}_3$ ; (b) Espectros de IV de Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) impregnada com  $\text{LaCoO}_3$**



Fonte: Elaborado pelos autores.

O espectro de FTIR da  $\text{LaCoO}_3$  (Figura 2b) possui três bandas características, 423  $\text{cm}^{-1}$  sendo a primeira referente a La-O, as bandas de absorção a 590 e 597  $\text{cm}^{-1}$  são atribuídas aos modos de vibração de alongamento de Co-O e de deformação de O-Co-O de  $\text{LaCoO}_3$ , respectivamente (SARKER, 2015). Os espectros de FTIR de materiais impregnados com perovskitas ( $\text{LaCoO}_3$ ), revelaram a presença das ligações características da alumina, sugerindo que a incorporação não afetou a estrutura e intensificou bandas de vibrações de estiramento Al-O a 1389  $\text{cm}^{-1}$ .

Foram realizados testes de combustão em meio inerte, a matriz porosa composta por duas camadas de aluminas ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Através das reações de combustão, foi calculada a razão de equivalência ( $\phi$ ) para cada teste e a velocidade de chama ( $u_{ch}$ ), utilizando a área de secção transversal do queimador ( $A_q$ ) e o fluxo da mistura gasosa de ar e GLP ( $V_g$ ). As razões de equivalência utilizadas foram 0.7, 0.8, 0.9 e 1.0. As vazões de GLP utilizadas foram entre 0,21  $\text{m}^3/\text{min}$  e 0,15  $\text{m}^3/\text{min}$ , já as vazões de ar foram entre 6,0  $\text{m}^3/\text{min}$  e 9,0  $\text{m}^3/\text{min}$  respectivamente.

A Tabela 1 apresenta valores de velocidade de chama ( $u_{ch}$ ) e as emissões de NO e CO para diferentes razões de equivalência ( $\phi$ ). Observou-se que o teste catalítico ( $LaFe_{0,6}Co_{0,4}O_3$ ) obteve as maiores velocidades de chama decorrente as menores temperaturas. Segundo Wang *et al* (2018), a propagação da velocidade de propagação da chama diminui com o aumento da temperatura, a velocidade diminui gradualmente com o aumento da razão de equivalência ( $\phi$ ).

**Tabela 1 - Velocidade de chama ( $u_{ch}$ ); Emissões de monóxido de carbono (CO); Emissão de monóxido de nitrogênio (NO) e razão de equivalência ( $\phi$ )**

$\phi$	$V_{ch}$ (m/s)	CO (ppm)			NO (ppm)		
		Inerte	$LaFe_{0,6}Co_{0,4}O_3$	$LaCoO_3$	Inerte	$LaFe_{0,6}Co_{0,4}O_3$	$LaCoO_3$
1,0	14,83	2548	1192	1389	14,50	8,83	12,26
0,9	13,39	6777	1190	1411	10,92	10,5	17,08
0,8	13,09	9405	5400	8450	13,53	7,50	14,50
0,7	14,05	5052	1099	6373	18,98	2,33	12,83

Fonte: Elaborado pelos autores.

A tabela mostra uma redução das emissões de CO com a diminuição da razão de equivalência. Fustafa *et al.* (2015) em seu trabalho utiliza meios porosos, para a geração de energia termoelétrica usando gás butano, e foi observado que ao obter uma mistura pobre houve uma redução das emissões de CO com a diminuição da razão de equivalência. Nas emissões de monóxido de nitrogênio (NO), houve uma redução na fase catalítica com um maior percentual (87%) na fase  $LaFe_{0,6}Co_{0,4}O_3$ .

Enquanto na fase catalítica contendo  $LaCoO_3$  apresentou um percentual de redução de 32% na razão de equivalência ( $\phi$ ) 0,7. As elevadas temperaturas na região de reação podem aumentar a formação de NOx. No entanto, a formação de NOx depende também do tempo de residência dos gases na região de alta temperatura, de forma que as maiores velocidades de chama alcançadas devido à recirculação tendem a se contrapor a este efeito. Em meio inerte foi apresentado um rendimento total de 90,35% e meio catalítico, o leito com perovskitas do tipo  $LaCoO_3$  apresentou uma eficiência total



de 94,31%, em uma razão de equivalência ( $\phi$ ) de 0,7 tornando o processo combustão mais eficiente na inserção de uma matriz catalítica.

#### 4 CONCLUSÕES

O queimador poroso mostrou-se eficiente para testes de combustão em meios porosos inerte e meios catalíticos. O sistema de medição de temperaturas e fluxos possibilitou a realização dos ensaios, o uso do analisador de gases foi satisfatório, em relação as medições dos gases analisados. Os testes foram realizados em 4 razões de equivalências ( $\phi$ ) 1,0; 0,9; 0,8 e 0,7. Foram avaliados os perfis de temperatura para os ensaios inertes e catalítico ( $\text{LaCoO}_3$ ).

Apesar de interferências externas o sistema demonstrou uma estabilidade no processo de combustão chegando a uma temperatura máxima de 1018 °C. A velocidade de chama variou entre 13,09 m/s e 14,83 m/s aumentou com o aumento do fluxo de ar e a vazão de GLP permaneceu constante. As emissões de CO e NO apresentaram uma redução na fase catalítica.

#### 5 REFERÊNCIAS

BRITO, Kaio Bruno Pereira de. **Uso de matrizes porosas com fase catalítica a base de metal-zeólita/ $\text{Al}_2\text{O}_3$  na combustão de GLP**. 2015. 92 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ciências Físicas Aplicadas) - Curso de Mestrado Acadêmico em Ciências Físicas Aplicadas, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará. Fortaleza, 2015.

GAO, H.; QU, Z.; FENG, X.; TAO, W. Combustion of methane/air mixtures in a two-layer porous burner: A comparison of alumina foams, beads, and honeycombs. **Experimental Thermal and Fluid Science**, v.52, p.215–20, 2014.

JANVEKAR, A. A.; ABDULLAH, M. Z.; AHMAD, Z. A.; ABAS, A.; HUSSIEN, A. A.; BASHIR, M.; AZAM, Q.; DESAI, M. Z. Assessment of porous media combustion with foam porous media for surface/submerged flame. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, n. 10, p. 20865-20873, 2018.

LIMA, Rita Karolinny Chaves de. **Perovskitas contendo lantânio, ferro e cobalto - melhoria de propriedades texturais via síntese por nanomoldagem e avaliação como catalisadores na redução de NO com CO**. 2008. 161 f. Tese (Doutorado em Ciências Exatas e da Terra) – Centro de Ciências Exatas e de tecnologia,



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS NATURAIS

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, da Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2008.

MISHRA, A.; PRASAD, R. Synthesis and Performance of Transition Metal Based Perovskite Catalysts for Diesel Soot Oxidation. **Bulletin of Chemical Reaction Engineering & Catalysis**, v. 12, n. 3, p. 469-477, 2017.

MUJEEBU, M. A.; ABDULLAH, M. Z.; BAKAR, M. Z. A.; MOHAMAD, A. A.; ABDULLAH, M. K. Applications of porous media combustion technology – A review. **Applied Energy**, v. 86, n. 9, p.1365-1375, 2009

MUSTAFA, K. F.; ABDULLAH, S.; ABDULLAH, M. Z.; SOPIAN, K. Combustion Characteristics of Butane Porous Burner for Thermoelectric Power Generation. **Journal of Combustion**, v. 2015, p. 1- 13, 2015.

PEREIRA, Fernando Marcelo. **Medição de características térmicas e estudo do mecanismo de estabilização de chama em queimadores porosos radiantes**. 2002. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

ROBAYO, M. D.; BEAMAN, B.; HUGHES, B.; DELOSE, B.; ORLOVSKAYA, N.; CHEN, R-H. Perovskite catalysts enhanced combustion on porous media. **Energy**, v. 76, p. 477–486, 2014.

SARKER, A. R. Synthesis of High Quality LaCoO<sub>3</sub> Crystals Using Water Based Sol-Gel Method. **International Journal of Materials Science and Applications**, v. 4, n. 3, p. 159-164, 2015.

## ESTUDO DE CASO: APLICAÇÃO DE NANOTECNOLOGIA EM UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS EM SÃO MIGUEL DOS MILAGRES – ALAGOAS

Igor D. R. Lima\*<sup>1</sup>, Marcius O. B. de Lima<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centro Universitário Tiradentes, \*e-mail: igorduarterl@hotmail.com.

**RESUMO:** Uma das principais vertentes do Saneamento Básico no Brasil é o esgotamento sanitário. A ONU estima que cerca de 892 milhões de pessoas no mundo defecam ao ar livre e 55% dos esgotos no Brasil não são tratados conforme Instituto Trata Brasil. Dessa forma, as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) devem ser viabilizadas. Sua função consiste em realizar processos físicos, químicos e biológicos para que retornem ao meio ambiente conforme a legislação ambiental. O uso de tecnologias para o tratamento de efluentes, como a BioGill, advém principalmente da necessidade de minimizar ao máximo os impactos ambientais, sociais e econômicos. Esse biorreator possui fases aeróbias, anaeróbias e anóxicas, associado a uma eficiência de remoção de matéria orgânica em torno de 90%. A ETE foi instalada na cidade de São Miguel dos Milagres em aproximadamente 8 horas como uma alternativa para o tratamento parcial dos esgotos da cidade. O sistema atingiu 97% de remoção de material orgânico e mostrou ao público medidas eficientes de melhorar a qualidade dos efluentes através da implementação de sistemas descentralizados e de baixo custo operacional.

**Palavras-chave:** Esgotamento Sanitário. Sistemas descentralizados. Tecnologias Ambientais.

**ABSTRACT:** One of the main aspects of Basic Sanitation in Brazil is sanitation. The UN estimates that about 892 million people in the world defecate outdoors and 55% of the sewage in Brazil is not treated according to Instituto Trat Brasil. Thus, the Sewage Treatment Stations (ETE) must be made viable. Its function is to carry out physical, chemical and biological processes so that they return to the environment in accordance

with environmental legislation. The use of technologies for the treatment of effluents, such as BioGill, comes mainly from the need to minimize environmental, social and economic impacts as much as possible. This bioreactor has aerobic, anaerobic and anoxic phases, associated with an efficiency of removing organic matter around 90%. The ETE was installed in the city of São Miguel dos Milagres in approximately 8 hours as an alternative for the partial treatment of the city's sewers. The system achieved 97% removal of organic material and showed the public efficient measures to improve the quality of effluents through the implementation of decentralized systems and low operating costs.

**Keywords:** Sewage. Decentralized systems. Environmental Technologies.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo o Conselho Nacional de Meio ambiente (CONAMA), conforme a resolução 430/2011, Esgoto Sanitário é a denominação genérica para despejos líquidos residenciais, comerciais e águas de infiltração na rede coletora, os quais podem conter parcela de efluentes industriais. Logo, um dos viés do saneamento básico é a coleta e tratamento desses efluentes. Com a falta de investimentos em saneamento nas cidades, os efluentes gerados são lançados sem nenhum tratamento em corpos hídricos e nas redes coletoras de água pluvial. Isso faz com que ocorra a deterioração da qualidade da água e limite os seus usos em decorrência da concentração elevada dos poluentes, principalmente os nutrientes, que fazem com que origine o processo de eutrofização.

Conforme o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2015), metade da população brasileira (50,3%) tem acesso a coleta de esgoto, ou seja, mais de 100 milhões de brasileiros descartam seus efluentes de maneira direta nos cursos hídricos ou em fossas. Sendo assim, o risco de aumentar a proliferação de vetores é muito grande. Estima-se que cerca de 80% de todas as doenças humanas estejam relacionadas, de forma direta ou indireta, com a água não tratada e ao saneamento precário (GUIMARÃES, 2015).

Portanto, uma das tecnologias que podem ser adotadas para tentar minimizar esses impactos é o reator biológico de membranas nano-cerâmicas denominado BioGill.

Essas membranas são dispostas de maneira vertical fornecendo suporte ideal para o crescimento microbiano através de um fluxo contínuo de esgoto e oxigênio. Essa tecnologia garante uma eficiência média de remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) em torno de 90% e de nutrientes de 80% (BIOGILL, 2015). Objetiva-se com esse trabalho apresentar informações a respeito das condições de esgotamento sanitário da cidade de São Miguel dos Milagres localizada em Alagoas e melhor-lo parcialmente através da implementação de um sistema descentralizado de efluentes.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A cidade de São Miguel dos Milagres-AL, apresenta uma população estimada de 7.163 habitantes e 8% apenas de esgotamento sanitário, conforme o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2010). O efluente que é descartado ao longo da cidade é proveniente principalmente dos vasos sanitários das residências, onde grande parte é direcionado para fossas e com isso acaba por provocar contaminação das águas subterrâneas da região. Os demais efluentes que não são direcionados para as fossas, acabam sendo direcionados para os canais de água pluvial do entorno da cidade. Logo, existe uma enorme vulnerabilidade desses efluentes chegarem aos mares da cidade e provocarem impactos sociais, ambientais e sobretudo econômicos, pois a cidade tornou-se referência turística no Brasil e no Mundo por conta de suas belas praias.

Primeiramente foi avaliado o local para a instalação do equipamento. O principal fator que é levado em consideração é a dificuldade de realizar interligações dos efluentes gerados nas casas para o equipamento. Com isso, o sistema foi colocado próximo a um córrego para a realização do tratamento de efluentes que eram descartados nessa área. Ademais, ocorreu a avaliação da água deste córrego e foi verificado que o mesmo apresenta características típicas de esgoto.

**Tabela 1 - Caracterização do efluente do córrego**

Parâmetro	Resultado	Composição típica de Efluente Doméstico (AISSE, 1985)
DBO (mg/L)	194	293
DQO (mg/L)	300	615
Óleos e Graxas (mg/L)	140,2	-
pH	6,95	-
Sólidos Sedimentáveis (mL/L)	0,2	9
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	11,2	14
Sólidos Suspensos (mg/L)	316	305

Fonte: Lima (2019).

O sistema descentralizado montado continha em sua composição: tratamento preliminar com a retenção de parte do material no córrego, decantador primário, Biogill com seu tanque de recirculação, decantador secundário e cloração.

**Figura 1 - O Projeto-Piloto**



Fonte: Lima (2019).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O sistema BioGill tratou parte dos efluentes que são gerados em um córrego em específico com o intuito de minimizar os impactos durante um período de 6 meses. O projeto demonstrado na Figura 1 foi implementado em aproximadamente 8 horas e obteve-se uma eficiência em termos de remoção de DBO de 97,1%, de Nitrogênio Amoniacal de 53,3% e de Coliformes Fecais de 99,1%.

**Tabela 2 - Resultado do projeto piloto**

Parâmetro	Efluente Bruto (córrego)	Efluente Tratado (após cloração)	Legislação CONAMA 430/2011
DBO (mg/L)	69	2	Em conformidade
DQO (mg/L)	150	103,3	Sem especificação
pH	7,01	7,37	Em conformidade
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	0,45	0,21	Em conformidade
Coliformes Fecais (NMP/100 mL)	16.000.000	<18	Sem especificação
Temperatura (°C)	28,6	29,9	Em conformidade
Cloro Residual (mg/L)	-	2,79	Sem especificação

Fonte: Lima (2019).

Vale ressaltar que essa análise apresentou valores menores quando comparados a primeira caracterização do córrego que foi realizada, uma vez que o período de coleta das amostras foi em época chuvosa, o que colaborou para a diluição do efluente. Além disso, a dificuldade de coleta do esgoto foi árdua, já que muitas das vezes as bombas não funcionavam corretamente devido ao alto descarte de resíduos sólidos da população nessa área.

Salienta-se também que o sistema implementado quando comparado com outros tipos de tratamento apresenta: baixo custo operacional e de manutenção - devido

a não utilização de aeradores, baixa geração de lodo e operação simples -, e não se utiliza produtos químicos para limpeza das membranas. O sistema ainda suporta carga de choques, como óleos e gorduras de até 100 mg/L (BIOGILL, 2015). Entre os benefícios de um sistema descentralizado estão: facilidade no planejamento e flexibilidade na tomada de decisões e promoção de um tratamento equivalente ao sistema centralizado (OLIVEIRA, 2013).

#### 4 CONCLUSÃO

Ao longo do período de análise da viabilidade do projeto e monitoramento das possíveis vulnerabilidades da área, como a chegada do efluente até as praias e o início da operação do sistema, foi possível observar que a cidade necessita de sistemas descentralizados de efluentes para que ocorra a minimização dos custos com implantação de redes coletoras e a maximização da eficiência do tratamento, já que muitos sistemas utilizados não atendem a legislação vigente e terminam por contaminar os aquíferos.

#### 5 REFERÊNCIAS

AISSE, Miguel Mansur. **Sedimentação do Lodo Secundário obtido no processo dos Lodos Ativados**. 1985. 205 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1985.

BIOGILL. **Technical Design Manual**. 3 ed. Setembro, 2015.

GUIMARÃES, S. T. de L.; AYACH, L. R.; CAPPI, N.; AYACH, C. Saúde, saneamento e percepção de riscos ambientais urbanos. **Caderno de Geografia**, v. 22, n. 37, p. 47-64, 2012.

OLIVEIRA, J. L. Tratamento descentralizado de águas residuárias domésticas: uma estratégia de inclusão social. *In*: LIRA, W. S.; CÂNDIDO, G. A. **Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa**. Campina Grande: EDUEPB, 2013. 325 p.

Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio 2011. Dispõe sobre classificação de corpos d'água e estabelece as condições e padrões para lançamento de efluentes, e dá outras providências e altera a Resolução nº 357, de 17 março de 2005, do CONAMA. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 92, 16 mai. 2011. Seção 1, p. 89.





PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS NATURAIS

SÃO MIGUEL DOS MILAGRES, IBGE. **Censo DemoGráfico, 2010**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/al/sao-miguel-dos-milagres/panorama>. Acesso em: 22 de set. de 2019.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento - **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015**. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos>>. Acesso em 22 de set. de 2019.

## ESTUDO DE ESTABILIDADE DE BIOHIDROGEL DE GALACTOMANANA ASSOCIADO A MANTEIGA DE KARITÉ

Amanda M. B. Alves<sup>\*1</sup>, Gizele P. Correia<sup>2</sup>, Nádia A. P. Pinheiro<sup>2</sup>, Antonia F. V. de Amorim<sup>2</sup>, Sônia M. da C. Siqueira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, \*e-mail: amanda.barros@aluno.uece.br.

<sup>2</sup>Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia.

**RESUMO:** Este estudo mostra o desenvolvimento de um biohidrogel a partir da galactomanana advinda da espécie *Delonix regia* associada à manteiga de karité emulsionada. Devido características como atoxidade, biocompatibilidade e principalmente sua utilização como veículo de princípio ativo, biohidrogéis têm despertado o interesse das grandes indústrias por hidrogéis naturais. A manteiga de karité foi escolhida na composição do biohidrogel, por ser utilizada como emoliente, com poder hidratante e possuir uma ação protetora, apresenta propriedades antioxidantes capazes de proteger contra os radicais livres e raios UV. Os biohidrogéis obtidos foram submetidos a avaliação organoléptica e físico-química, seguidos de testes de estabilidade preliminares. Diante das análises, observou-se que as amostras se mantiveram estáveis na avaliação organoléptica e apresentaram também características físico-químicas que podem atender a indústria de biohidrogéis, porém, quando submetidas a temperaturas mais elevadas perderam água, evidenciando que os hidrogéis são bastante suscetíveis a alterações devido a exposição ao calor. Entretanto, mesmo com a perda da água, estas formulações apresentam um grande potencial de se tornarem um produto para uso capilar e corporal.

**Palavras-chave:** Manteiga de Karité. Galactomanana. Biohidrogel.

**ABSTRACT:** This study shows the development of a biohydrogel from galactomannan from the species *Delonix regia* associated with emulsified shea butter. Due to

characteristics such as atoxity, biocompatibility and mainly its use as a vehicle of active principle, biohydrogels have aroused the interest of large industries for natural hydrogels. Shea butter was chosen in the composition of the biohydrogel, because it is used as an emollient, with moisturizing power and has a protective action, has antioxidant properties capable of protecting against free radicals and UV rays. The biohydrogels obtained were submitted to organoleptic and physical-chemical evaluation, followed by preliminary stability tests. In view of the analyzes, it was observed that samples remained stable in the organoleptic evaluation and also showed physical-chemical characteristics that can serve the biohydrogel industry, however, when subjected to higher temperatures, they lost water, showing that hydrogels are quite susceptible to changes due to heat exposure. However, even with the loss of water, these formulations have a great potential to become a product for hair and body use.

**Keywords:** Karite butter. Galactomannan. Biohydrogel.

## 1 INTRODUÇÃO

O setor de cosméticos, em particular, o mercado dos produtos capilares e corporais, tem seguido uma nova tendência de acordo com a exigência de seus consumidores, apostando em produtos livres de petrolatos, sulfatos, parabenos e siliconados, substituindo estes produtos, por ingredientes provenientes da natureza.

Nesse sentido, os biohidrogéis vêm despertando o interesse das grandes indústrias por apresentarem características tais como biocompatibilidade, e a capacidade de se tornarem géis devido ao seu alto grau de intumescimento, se assemelhando ao um tecido vivo. Além disso, atuam como um sistema de liberação controlada de princípios ativos, sendo um bom candidato para substituir os polímeros sintéticos (AOUADA, 2009; MOURA, 2005; SABADINI, 2015). Assim sendo, o uso de polímeros naturais, obtidos de fontes renováveis, tais como, plantas, algas e culturas microbianas, especialmente leveduras e fungos, tem uma grande aplicação industrial por apresentarem produtos de baixo custo, serem biocompatíveis, atóxicos, biodegradáveis e serem abundantes na natureza (SABADINI, 2015).

A manteiga de karité é constituída por ácidos graxos e vitaminas, possuindo uma grande importância na área dos cosméticos (BAREL; PAYE; MAIBACH, 2009; MARANZ; WIESMAN, 2004; MAANIKUU; PEKER, 2017; SEMMLER, 2011).

Neste contexto, este trabalho apresenta o desenvolvimento de um biohidrogel a partir de um polímero natural associado a manteiga de karité emulsionada. As formulações obtidas foram avaliadas a fim de assegurar a confiabilidade do produto para possíveis estudos e aplicações posteriores.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A galactomanana foi fornecida pelo Laboratório de Tecnologia Química da Universidade Estadual do Ceará. A manteiga de karité foi fornecida pela empresa Mapric® Products Farmacosmeticos.

### 2.1 Preparação da emulsão

A emulsão foi preparada utilizando-se água destilada, manteiga de karité e dietanolamida de ácidos graxos (DEA) como surfactante. Inicialmente, colocou-se água destilada em um béquer de 100 mL, adicionou-se em seguida a dietanolamida, até que a mistura estivesse homogeneizada; por fim, adicionou-se a manteiga de karité, aquecendo-a por 10 minutos com temperatura em torno de 50 °C até a total homogeneização. As emulsões ficaram em repouso por 48 horas e após esse período, avaliou-se o pH da emulsão, aspecto, coloração e estabilidade visual.

### 2.2 Incorporação da manteiga de karité emulsionada no biohidrogel de galactomanana

Após a obtenção das emulsões da manteiga de karité e formação do biohidrogel de galactomanana, reservou-se 5% das emulsões de manteiga de karité para 5 gramas do biohidrogel, na qual as proporções de emulsão variaram em 6,8615 g (Formulação A) e 11,9037 g (Formulação B). Em seguida, as formulações foram inseridas

em um ultrassom para uma agitação promovida por energia ultrassônica, durante 10 minutos. Em seguida, as amostras foram colocadas em repouso, na geladeira, por 48 horas para posteriormente serem analisadas quanto as suas características organolépticas e propriedades físico-químicas.

## **2.3 Parâmetros organolépticos e físico-químicos**

### **2.3.1 Avaliação do pH**

A determinação do pH das amostras preparadas foi realizada em temperatura ambiente por 4 semanas por meio de uma fita indicadora de pH da marca MACHEREY-NAGEL.

### **2.3.2 Densidade**

Para analisar a densidade das amostras foi usado um picnômetro de 25 mL. Inicialmente, pesou-se o picnômetro vazio, em seguida, pesou-se com água que foi usada como padrão, por último pesou-se o picnômetro contendo as formulações já prontas.

### **2.3.3 Propriedades Organolépticas**

As análises envolveram aspectos macroscópicos como odor, coloração e homogeneidade, a fim de verificar algum tipo de instabilidade.

## **2.4 Ensaios preliminares de estabilidade**

A partir dos parâmetros físico-químicos e organolépticos, as amostras estáveis foram submetidas aos testes preliminares de estabilidade (ANVISA, 2004).

#### 2.4.1 Centrifugação

Em um tubo de ensaio próprio para centrífuga do tipo falcon, as amostras foram submetidas a ciclos de 1.000, 2.000 e 3.500 rpm durante 15 minutos cada ciclo. E em seguida foram analisadas as amostras macroscopicamente em relação ao seu aspecto, coloração, odor, separações de fases e determinação de pH.

#### 2.4.2 Estresse térmico

As amostras foram submetidas a aquecimento em banho-maria, na faixa de temperatura de 40 a 80 °C. Aumentando a temperatura de 5 °C e permanecendo por 30 minutos em cada temperatura. Estas amostras foram então submetidas aos testes organolépticos e determinação de pH.

#### 2.4.3 Ciclo gela-desgela

As formulações foram submetidas a diferentes condições de temperatura. Primeiramente as amostras foram condicionadas na geladeira por 24 horas com a faixa de temperatura em torno de 4 °C, em seguida, retirou-se as amostras e foram colocadas na estufa por mais 24 horas com a faixa de temperatura de 45 °C, finalizando o primeiro ciclo. Por fim, foram realizadas no total 6 ciclos, ou seja, no período de 12 dias com alternância entre a geladeira e a estufa. Em seguida, foram analisadas em relação aos aspectos organolépticos e determinação de pH.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Parâmetros físico-químicos e organolépticos

##### 3.1.1 Avaliação de pH

Segundo Gomes (1999), o pH da camada hidrolipídica que protege o cabelo

deve ser levemente ácida, entre 4 e 6 na escala de pH. Ao se utilizar produtos muito ácidos ou muito alcalinos ocorre danificação do cabelo, apresentando um aspecto opaco e seco. As formulações apresentaram pH em torno de 7 e foi mantido este pH, pois não danificaria o cabelo.

### 3.1.2 Densidade

Analisando as formulações pode-se observar que não houve nenhuma alteração significativa visto que as formulações apresentam quantidades diferentes de emulsão.

**Tabela 1 - Determinação das densidades relativas das formulações A e B**

Determinação da densidade relativa (25 °C)			
mAMOSTRA <b>(A)</b> (g)	mH <sub>2</sub> O (g)	ρH <sub>2</sub> O (g/mL)	ρAMOSTRA <b>(A)</b> (g/mL)
25,1196	26,3246	≅ 1,00	≅ 0,9542
mAMOSTRA <b>(B)</b> (g)	mH <sub>2</sub> O (g)	ρH <sub>2</sub> O (g/mL)	ρAMOSTRA <b>(B)</b> (g/mL)
24,6968	26,7392	≅ 1,00	≅ 0,9269

Fonte: Elaborado pelos autores.  
Onde ρ= densidade.

### 3.1.3 Propriedades organolépticas

Para as formulações obtidas, não foram observadas nenhuma mudança em relação as suas propriedades organolépticas como é mostrada na Tabela 2. Essas puderam então seguir para o teste de estabilidade.

**Tabela 2 - Parâmetros organolépticos das formulações**

Formulações	Coloração	Odor	Aspecto	pH
<b>A</b>	Esbranquiçado	Característico	Gel	7,0

Fonte: Elaborado pelo autor.

### **3.2 Avaliação dos testes de estabilidade preliminares**

O estudo de estabilidade é muito importante para essas amostras de biohidrogel, pois indicará informações quanto ao comportamento delas frente a diferentes condições ambientais, tais como, umidade e temperatura, avaliando até que ponto estas formulações podem permanecer inalteradas (ANVISA, 2004).

#### **3.2.1 Centrifugação**

De acordo com a Anvisa (2004), o primeiro teste que deve ser realizado é o de centrifugação, no qual está relacionado a força gravitacional a fim de verificar o aumento da movimentação das partículas, causando assim um estresse na amostra e antecipando possíveis processos de instabilidade. Os biohidrogéis ao serem centrifugados permaneceram estáveis, mantendo o aspecto de gel, sem alterações de cor ou odor, sem formação de fases e alteração de pH.

#### **3.2.2 Estresse térmico**

Na faixa de temperatura de 40-65 °C as formulações se comportaram de forma semelhante, mesmo com diferenças na quantidade de água e surfactante. A partir de 65 °C ocorreram modificações nas suas características. Em relação a sua coloração, elas se tornaram amareladas, e em seus aspectos, se tornaram levemente ressecadas devido a perda de massa, ou seja, que possivelmente é decorrente da perda de água durante o ciclo.

#### **3.2.3 Ciclo gela-degela**

Durante o primeiro, segundo e terceiro ciclo, as amostras não sofreram



alteração nas características tais como: aspecto gelatinoso e coloração esbranquiçada além de manter a neutralidade no valor de pH. Durante o quarto ciclo, as amostras A e B começaram a sofrer mudanças apresentando colorações amareladas e o aspecto gelatinoso mostrou-se ressecado, devido a evaporação da água. Em contrapartida, o odor e o valor de pH continuaram os mesmos. Resultados semelhantes foram encontrados por Moura (2005), que ao realizar testes com hidrogéis, envolvendo temperatura, observou a diminuição do seu volume com o aumento da temperatura, evidenciando que eles são bastante suscetíveis a alterações, quando expostos ao calor. Os biohidrogéis são também bastantes suscetíveis a mudanças no seu aspecto devido a temperatura (DRESSLER, 2008), fato esse demonstrado neste trabalho, onde as amostras tiveram um aspecto de um filme plástico.

#### 4 CONCLUSÕES

A associação da manteiga de karité emulsionada ao biohidrogel de galactomanana proporcionou uma formulação estável. Nos resultados obtidos pelos testes de estabilidade preliminar observou-se que após uma determinada temperatura e uma repetição de ciclos ocorria perda de massa, provavelmente devido à evaporação da água, já que o biohidrogel é composto por uma elevada quantidade de água devido ao intumescimento. Em relação aos parâmetros adotados pela ANVISA, quanto ao armazenamento por longos períodos de tempo na prateleira, as amostras se comportaram bem, mantendo suas propriedades organolépticas e pH, o que é uma vantagem para o produto com a finalidade de comercialização. Deste modo, as formulações necessitam de mais estudos em avaliações futuras, a fim de obter informações mais detalhadas sobre este biohidrogel.

#### 5 REFERÊNCIAS

ANVISA, Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Guia de Estabilidade de Produtos Cosméticos/Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. 1. ed. Brasília: ANVISA, 2004. 52 p.

AOUADA, Fauze Ahmad. **Síntese e caracterização de hidrogéis de poliacrilamida e metilcelulose para a liberação controlada de pesticidas.** 2009. 141 f. Tese (Doutorado em Ciências Físico-química) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2009.

BAREL, A. O.; PAYE, M.; MAIBACH, H. I. **Handbook of cosmetic science and technology.** 3. ed. New York: Editora Informa Healthcare, 2009. 831 p.

DRESSLER, Aline Costa. **Propriedade reológicas compósitos sol-gel de quitosana/ glicerol/ nanoelementos.** 2008. 70 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

GOMES, A. L. **O uso da tecnologia cosmética no trabalho do profissional cabelereiro.** 5º edição. São Paulo: Senac, 1999. 144 p.

MAANIKUU, P. M. I.; PEKER, K. Medicinal and Nutritional Benefits from the Shea Tree – (Vitellaria Paradoxa). **Journal of Biology, Agriculture and Healthcare**, v. 7, n. 22, p. 51-57, 2017.

MARANZ, S.; WIESMAN, Z. Influence of Climate on the Tocopherol content of Shea Butter. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 10, p. 2934-2337, 2004.

MOURA, Márcia Regina. **Caracterização de Matriz Polimérica de Hidrogel Termosensível Sintetizada a Partir de Alginato-Ca<sup>2+</sup> e Poli (N-isopropil acrilamida), do Tipo IPN e Semi-IPN.** 2005. 120 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2005.

SABADINI, Rodrigo César. **Redes poliméricas de macromoléculas naturais como hidrogéis superabsorventes.** 2015. 150 f. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

SEMMLER, Talita Carla. **Estudos de pré-formulação e desenvolvimento de preparações cosméticas.** 2011. 150 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Farmácia-Bioquímica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Farmacêuticas Araraquara, 2011.

**ESTUDO SOBRE USO DE EQUIPAMENTOS DE CORTE E IMPACTOS  
SOCIOAMBIENTAIS ASSOCIADOS AOS PROFISSIONAIS DOS AÇOUQUES DO  
MERCADO SÃO SEBASTIÃO EM FORTALEZA**

**Marcio W. C. Santos<sup>1</sup>, Angelo B. Rodrigues<sup>1</sup>, Ana B. A. Vasconcelos<sup>1</sup>, Luiz G. L.  
Junior<sup>1</sup>, Clídio R. G. de Lima<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade de Fortaleza, \*e-mail: marciowilliam29will@edu.unifor.br

**RESUMO:** O açougueiro exerce uma atividade muito antiga nascida na Europa e chegada ao Brasil no ano de 1910, sendo passada de pais para filhos e desempenhada até os dias de hoje com o meio de sustento e herança para as futuras gerações, onde na maioria das vezes é a única profissão que eles adquiriram experiência. Essa atividade consiste em preparar carnes para a venda e consumo dos próprios açougueiros. O corte de carne nos açougues se caracteriza como uma atividade de alta insalubridade, levando ao objetivo do artigo, que é a análise desse risco e seus impactos socioambientais através de uma pesquisa de campo. Após a pesquisa e os estudos, é notado todos os fatores como risco físico, químico, biológico, ergonômico e mecânico, essas atividades são de alto risco para o ser humano e o meio ambiente em que eles vivem, gerando sequelas como amputação dos dedos, mão, perda da audição, estresse e problemas osteomusculares imensuráveis se não forem remediadas com os devidos cuidados para as suas seguranças.

**Palavras-chave:** Açougue. Risco. Impactos Socioambientais.

**ABSTRACT:** The butcher carries out a very old activity born in Europe and arrived in Brazil in 1910, being passed from parents to children and performed until today as a means of support and fitness for future generations, where most of the time it is the only one profession they have acquired experience. This activity consists of preparing meat for the sale and consumption of the butchers themselves. Cutting meat in butchers stands out as one of high unhealthiness, leading to the objective of the article, that the activity is

the analysis of this risk and its socio-environmental impacts through field research. After the research and studies, it is noticed all factors such as physical, chemical, biological, ergonomic and mechanical risk, this activity is of high risk for human beings and the environment in which they live, generating sequelae such as amputation of fingers, hand, hearing loss, stress and musculoskeletal problems immeasurable if not principally remedied with due care for their security.

**Keywords:** Butchery. Risk. Socioenvironmental Impacts.

## 1 INTRODUÇÃO

No início, o Mercado era dedicado principalmente ao comércio de frutas, verduras e carnes. O local já foi alvo de circos e sem a sua presença virava um campo de futebol, depois, mudou o nome da praça para Praça Paula Pessoa e levaram o mercado para esta localidade. Em 1937, quando o mercado de Ferro, localizado na antiga Praça José de Alencar começou a ser desmontado, hoje dito Mercado dos Pinhões, e outra parte foi para a Praça Paula Pessoa, onde hoje se localiza o Mercado São Sebastião. Atualmente conta com aproximadamente 450 boxes que comercializam uma grande variedade de produtos regionais, nacionais e internacionais, desde produtos para construção civil até farmacêuticos. Segundo historiadores, o antecessor do mercado São Sebastião foi o Mercado de Ferro, inaugurado em 1897, no espaço onde hoje é a Praça Waldemar Falcão, no Centro de Fortaleza. Após sucessivos desmontes e tendo a estrutura distribuída entre outros mercados da cidade – como dos Pinhões, também no Centro, e da Aerolândia, em bairro homônimo, foi realizado um novo projeto para o equipamento: em 1997, na gestão do prefeito Juraci Magalhães abriam-se as portas do Novo Mercado São Sebastião, idealizado pelo arquiteto cearense Fausto Nilo.

Até o século XVIII o consumo de carne na Europa e nas Américas era esporádico, na maioria das vezes decorrente da criação doméstica de animais e da caça. A venda de carne existia basicamente nos centros urbanos e não era uma prática ao alcance de todos. Tratava-se de um artigo de luxo, e até mesmo os trabalhadores mais especializados tinham dificuldade em comprá-lo. Nas grandes cidades, a exemplo da

Londres dos séculos XVII e XVIII, apenas os tipos inferiores de carne como “arenque defumado e salgado, pés de carneiro e de vaca, orelhas de poço, miúdos, tripas e morcela”, cabiam no orçamento dos trabalhadores. No que se refere à produção de carne era um negócio restrito ao ofício dos açougueiros, regulamentado por legislação específica das corporações e realizado com base em trabalho artesanal pouquíssimo dividido. Aliás, a divisão do trabalho típico da manufatura não penetrou no mundo dos açougueiros antes da instituição dos frigoríficos ao longo do século XIX e da primeira metade do século XX (BOSI, 2014).

Até o surgimento da indústria frigorífica, no Brasil, na década de 1910, prevaleciam no país as charqueadas primitivas, e os matadouros municipais, que faziam o abastecimento local de modo bastante precário, exceto por alguns estabelecimentos que, no quesito instalações eram bastante atualizados relativamente aos seus similares franceses e alemães. Matadouros municipais diferenciados como os de Manaus, Belém do Pará, Recife, Maceió e Aracajú foram instalados com base em projetos e equipamentos importados da Europa. Com as inovações tecnológicas, o comércio de carnes teve sua vez também, com equipamento e utensílios para facilitar o trabalho manual dos açougueiros (FELÍCIO, 2013).

Atualmente, nos açougues, há diversos problemas que acabam impactando o meio ambiente e diretamente o ser humano. Dentre eles, estão: a falta de higiene, o stress causado pela atividade cansativa e repetitiva e os acidentes causados por serra fita. O açougue é um dos setores mais perigosos para trabalhar, sobretudo, pelo fato de serem encontradas muitas máquinas perigosas no setor, não sendo somente elas as causadoras de acidentes, mas também facas afiadas para o corte das carnes e demais derivados que são processados no local.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O local da pesquisa de campo foi o Mercado São Sebastião, localizado na Rua General Clarindo Queiroz, com as coordenadas de latitude e longitude (-3.730771, -38.539129). Este trabalho trata-se de uma pesquisa de campo, exploratória de abordagem qualitativa, no qual se busca analisar um grupo de profissionais que sofrem

a mesma doença ou acidente, e a partir da descrição desses casos, analisar os impactos socioambientais.

Na pesquisa de campo foi realizado uma visita técnica como primeira abordagem aos profissionais que trabalham no mercado São Sebastião, para coletar informações de acidentes, essas informações foram coletadas de maneira informal sendo ela mais uma conversa, os mesmos se mostraram receosos pensando que ali estavam agentes da vigilância sanitária. Foram considerados como acidentes de trabalho quaisquer relatos de eventos súbitos ocorridos no exercício de atividade laboral e que acarretou danos à saúde, potencial ou imediato, provocando lesão corporal ou perturbação funcional.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O turno de trabalho dos entrevistados é integral. Normalmente, são proprietários do açougue ou funcionários. Eles executam várias atividades como, cortar, desossar e atender os clientes. Pôde-se notar que todo o trabalho é realizado de maneira ágil, atendendo as exigências dos clientes, aumentando a periculosidade das atividades. Verificou-se por meio dos dados coletados, bem como da observação, quanto o trabalho na feira pode ser desgastante e perigoso. Segundo a Secretária de Saúde (PARANÁ, 2012), as atividades desempenhadas e as condições dos postos de trabalho influenciam diretamente na saúde do trabalhador. O trabalho pode expor as pessoas a situações de risco à saúde.

As LER/Dort são síndromes que afetam o sistema muscular esquelético que se caracterizam como dor crônica, fadiga muscular e parestesia (formigamento) nos membros superiores, ombro e pescoço. Esse trabalho também pode ocasionar problemas psicológicos, visto que o afastamento temporário ou permanente das funções pode prejudicar o bem estar mental do trabalhador. A atividade dos entrevistados é extremamente repetitiva, trabalham todo o tempo em pé.

Segundo Brasil (1976), acidente do trabalho é aquele que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço da empresa, provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte, ou perda, ou redução, permanente ou temporária, da capacidade

para o trabalho. Todo e qualquer risco a saúde deve ser analisado por múltiplos aspectos, os que chamam mais atenção são: tempo de exposição, intensidade, duração do ciclo de trabalho, inflexibilidade no horário de trabalho com as devidas pausas.

Os trabalhadores relataram que não usam as EPIs (equipamento de proteção individual) devido ao difícil manuseio, pois retarda o trabalho, ou seja, cortam as carnes devagar devido ao peso. O preço é alto e o equipamento incomoda as mãos devido ao peso e a perda de tato com a carne, sendo assim não se pode ser preciso no momento de corte. Quanto aos acidentes de trabalho sofridos, um dos trabalhadores mostrou a mão repleta de cicatrizes devido aos erros na hora de cortar a carne. Outro, relatou ter amputado o um pedaço do dedo e relatou o caso do filho que quando ele estava operando na máquina quase que perde um dedo e um pedaço da mão. Outro disse que os acidentes ocorrem devido ao stress, o cansaço a velocidade e a falta de atenção quando se está operando na máquina de açougue.

Neste sentido, o processo de trabalho está diretamente relacionado ao processo de saúde e doença, uma vez que as condições adversas no ambiente laboral podem levar a doenças e agravos. O cotidiano dos feirantes é permeado por dificuldades e desafios, que exigem mudanças nos hábitos de vida. O açougueiro não possui as devidas instruções a respeito da organização de seu ambiente de trabalho, por exemplo, do risco que uma lixeira representa para o setor, dado que, na maioria das vezes, as sobras das mesas de manipulação são descartadas nela, trazendo agentes etiológicos, como moscas e bactéria, além de gerar sujeira e mau cheiro. Em virtude destes agentes estarem próximos da área de manipulação dos produtos para a venda, existe um grande risco de contaminação biológica. Segundo pesquisadores os problemas de saúde diminuem a produtividade e o desempenho do trabalho e ainda aumentam a ocorrência de acidentes e lesões como mostra a Tabela 1 e a Figura 1.

**Figura 1 - Acidente com a serra fita**



Fonte: Arquivo pessoal.

Uma das atividades realizadas pelos açougueiros consiste em cortar mercadorias com ferramentas, o que possui grande risco de lesões nas mãos como mostra a Figura 2. A pressão da atividade também causa estresse na atividade dos açougueiros, pois é da atividade que vem o sustento e os trabalhadores necessitam realizar a atividade de maneira rápida. A máquina utilizada no local de trabalho é constituída de uma serra fita que corta os alimentos de forma rápida e eficiente. Essa máquina sem proteção pode ocasionar acidentes graves, pois os trabalhadores quando cortam pedaços finos de carnes passam os dedos perto da serra que corta o alimento como mostra a Figuras 2 e 3.

**Figura 2 - Acidente com facão**



Fonte: Arquivo pessoal.



**Figura 3 - Sequelas após acidente**



Fonte: Arquivo pessoal.

É importante ressaltar a atribuição da culpa do acidente de trabalho a própria vítima, uma vez que todos os entrevistados apontaram a pressa e a falta de atenção como possíveis causas para os eventos, o que nos leva a pensar na aceitabilidade social e do próprio trabalhador do “ato inseguro”.

Entretanto, do ponto de vista científico e, em particular, do estado da arte das pesquisas no campo da análise de catástrofes e acidentes do trabalho, a persistência do uso da noção de ato inseguro é inaceitável. É necessária uma visualização de todo o processo de trabalho para que as causas fiquem mais visíveis.

**Tabela 1 - Atividades ocupacionais desenvolvidas pelos trabalhadores do açougue**

Riscos	Agentes	Efeitos
<b>Físicos</b>	Ruído (serra elétrica, amaciador e moedor de carne).	Ruído: Mudança temporária no limiar, trauma acústico e perda auditiva induzida por ruído.
<b>Químicos</b>		Irritação, dispneia.

	Produtos químicos de limpeza.	
<b>Biológicos</b>	Vírus e bactérias (Moscas).	Disenteria, cólera, gonorreia, conjuntivites, varíola, poliomielite, erisipelas etc.
<b>Ergonômicos</b>	Má postura, sobre carregamento de atividades.	Desconforto físico e mental, dores osteomusculares, estresse.
<b>Mecânicos</b>	Facas, serra elétrica, moedor de carne e amaciador de carne.	Cortes, esmagamentos, lesões ou perda de algum membro.

Fonte: Análise dos riscos ocupacionais presente em um açougue (RODRIGUES, 2016).

#### 4 CONCLUSÕES

Os trabalhadores açougueiros exerceram por um tempo outro trabalho ou possuem a tradição familiar de trabalhar no comércio. Entretanto, estão expostos a riscos presentes no processo laboral que podem levar a ocorrência de acidentes de trabalho e/ou desenvolvimento e agravamento de processos patológicos, podendo desenvolver serias doenças crônicas.

Mesmo com a ocorrência de acidentes, os entrevistados estudados continuam trabalhando, pois é dessa atividade que vem a sua renda familiar. Tendo em vista os acidentes dentro dos açougues decorridos da falta de equipamentos necessários, aponta-se a necessidade de novas EPIs, que englobem o processo de trabalho no que diz respeito à promoção da saúde e à prevenção de doenças e agravos advindos do trabalho ou agravados por este. Contudo, não foi visto preocupações com relação à ergonomia que está ganhando espaço no mercado pois, tem grande significado para prevenir uma onda crescente de estresse, desconforto físico e mental, dores osteomusculares.

## 5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos primeiramente a DEUS, instituição UNIVERSIDADE DE FORTALEZA que disponibilizou os meios necessários para concluir nosso estudo, secundamente aos professores e a coordenação do curso de Engenharia Ambiental. Ao meu orientador pela confiança. A FUNCAP pela Bolsa CONCEDIDA E A UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CEARÁ pelo evento.

## 6 REFERÊNCIAS

BOSI, A. de P. Dos Açougues aos frigoríficos uma história social do trabalho na produção de carne, 1750 a 1950. **Revista de História Regional**, v. 19, n. 1, p. 83-103, 2014.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde. Departamento de Ações Programáticas Estratégicas. **Notificação de acidentes do trabalho fatais, graves e com crianças e adolescentes**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2006. Disponível em: [http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/06\\_0442\\_M.pdf](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/06_0442_M.pdf). Acesso em: 11 set. 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **PORTARIA N.º 25, DE 29 DE DEZEMBRO DE 1994**. Considerando a necessidade de melhor orientar a adoção de medidas de controle dos riscos ambientais nos locais de trabalho. Ministério do Trabalho e Emprego. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Portaria+n.+25+SSST+MTb+29+dezembro+1994+Aprova+a+NR+9+sobre+o+Programa+de+Prevencao+e+riscos+ambientais\\_000gpl14yq02wx7ha0g934vgrnn5ero.PDF](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Portaria+n.+25+SSST+MTb+29+dezembro+1994+Aprova+a+NR+9+sobre+o+Programa+de+Prevencao+e+riscos+ambientais_000gpl14yq02wx7ha0g934vgrnn5ero.PDF). Acesso em: 13 set. 2019.

BRASIL. Presidência da República Casa Civil. LEI Nº 6.367, de 19 de outubro de 1976. Dispõe sobre o seguro de acidentes do trabalho a cargo do INPS e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 21 out. 1976. Seção 1, p. 13975.

FELÍCIO, P. E. de. **O surgimento dos matadouros-frigoríficos no Brasil do início do século XX**. Beefpoint: São Paulo. Página modificada em: 11 out. 2013. Disponível em: <http://sites.beefpoint.com.br/pedrodefelicio/o-surgimento-dos-matadouros-frigorificos-no-brasil-do-inicio-do-seculo-xx/>. Acesso em: 11 set. 2019.

GOMES, Marianna. **Cearenses criam projeto de estímulo e resgate da culinária regional no Mercado São Sebastião**. Tribunal do Ceará, Ceará, 02 set. 2015. Disponível em: <https://tribunadoceara.com.br/diversao/cultura/cearenses-criam-projeto-de-estimulo-e-resgate-da-culinaria-regional-no-mercado-sao-sebastiao/>. Acesso em: 15 set. 2019.

JACKSON FILHO, J. M.; VILELA, R. A. de G.; GARCIA, E. G.; ALMEIDA, I. M. de. Sobre a "aceitabilidade social" dos acidentes do trabalho e o inaceitável conceito de ato inseguro. **Revista Brasileira de Saúde Ocupacional**, v. 38, n. 127, p. 6-8, 2013.

MÄKINEN, T. M.; HASSI, J. Health problems in cold work. **Ind Health. Kawasaki**, v. 47, n.3, p. 207-220, 2009.

PARANÁ. Secretaria da Saúde. **Movimentos repetitivos no trabalho podem causar lesões irreversíveis**. Página modificada em 29 mai. 2012. Disponível em:<http://www.saude.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=2203>. Acesso em: 13 set. 2019.

RIOS, M. A.; VILELA, A. B. A.; NERY, A. A. The work and the health of elderly butchers: case reports from a municipal market. **Revista Brasileira de Geriatria e Gerontologia**, Bahia, v. 20, n. 5, p.643-649, 2017.

RODRIGUES, A. J.; SOUZA, K. S. F.; SILVA, E. C. r dos S. Análise dos riscos ocupacionais presentes em um açougue de uma cidade do interior da paraíba. *In*: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 23., 2016. Bauru, SP. **Anais...Bauru: SIMPEP**, 2016.

SARAIVA, Júlio. **História do mercado São Sebastião**. Julio Saraiva Leao. Página modificada em 26 maio 2012. Disponível em: <http://juliosaraivaleao.blogspot.com/2012/05/historia-do-mercado-sao-sebastiao.html>. Acesso em: 13 set. 2019.

SILVA, S. R. A.; AMORIM, R. da C.; ALMEIDA, A. M. de. Percepção de feirantes hipertensos sobre o adoecer crônico. **RevEnferm UERJ**, v. 23, n. 6, p. 761-766, nov/dez. 2015.

TEIXEIRA, S. M. Envelhecimento do trabalhador e as tendências das formas de proteção social na sociedade brasileira. **RevArgumentum UFES**. Vitória, v. 1, n. 1, p. 63-77, jul/dez. 2009.

VIANA, T. **Mercado São Sebastião completa 22 anos movimentando comércio e histórias**. Fortaleza: Diário do Nordeste. Página modificada em 20 jan. 2019. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/editorias/metro/online/mercado-sao-sebastiao-completa-22-anos-movimentando-comercio-e-historias-1.2052152>. Acesso em: 13 set. 2019.

WEINFUTER, S. **Açougue: perigos no local de trabalho**. São Paulo: Portal da Educação. Página modificada em maio 2014. Disponível em: <https://www.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/conteudo/acougueperigosnolocaldetrabalho/57157>. Acesso em: 13 set. 2019.

## EVIDÊNCIAS GLOBAIS DA RELAÇÃO ENTRE INDICADORES SOCIAIS DA POPULAÇÃO E A GERAÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS

Ana R. L. Lima\*<sup>1</sup>, Mariana de O. Araújo<sup>1</sup>, Matheus D. de S. Vasconcelos<sup>1</sup>, José de S.O. Filho<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Curso de Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciência e Tecnologia,  
\*e-mail: rayssa.lima@aluno.uece.br.

**RESUMO:** Neste trabalho, realizamos um levantamento global da relação entre indicadores sociais relacionados a educação (anos de estudo efetivo, taxa de alfabetização e acesso à internet) e populacionais (índice de desenvolvimento humano, expectativa de vida, densidade populacional e população residente na zona urbana) e a geração de resíduos sólidos orgânicos de 107 países. De modo geral, concluímos que países com níveis econômicos, sociais e educacionais elevados tendem a produzir uma menor proporção de resíduos orgânicos no conjunto total de resíduos sólidos. Em contrapartida, observamos que a densidade populacional parece não ter influência no percentual de resíduos orgânicos gerados globalmente. De acordo com nossos resultados, a idade média da população foi o indicador que melhor descreveu a dinâmica da relação de aumento ou redução da geração de resíduos orgânicos por uma nação. Nossos resultados são importantes para o estabelecimento de estratégias que visem a melhoria da gestão dos resíduos urbanos.

**Palavras-chave:** Qualidade de vida. Educação. Lixo urbano.

**ABSTRACT:** In this work, we conducted a global survey of the relationship between social indicators related to education (years of effective study, literacy rate and internet access) and population (human development index, life expectancy, population density and population living in the urban area) and the generation of solid organic waste from 107 countries. In general, we conclude that countries with high economic, social and educational levels tend to produce a lower proportion of organic waste in the total set of

solid waste. In contrast, we observed that the population density does not seem to have an influence on the percentage of organic waste generated globally. According to our results, the average age of the population was the indicator that best described the dynamics of the ratio of increase or decrease in the generation of organic waste by a nation. Our results are important for the establishment of strategies aimed at improving the management of urban waste.

**Keywords:** Quality of life. Education. Urban waste.

## 1 INTRODUÇÃO

De acordo com o relatório What a Waste 2.0 do Banco Mundial, aproximadamente 2,01 bilhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos (RSU) são geradas anualmente pelo mundo (KAZA *et al.*, 2018), e espera-se que em 2050 esse número chegue a 3,40 bilhões de toneladas, o que representa um aumento de quase 70% (IPEA, 2020). Do total de RSU gerados globalmente, estima-se que aproximadamente 44% seja de origem orgânica (restos de alimentação, podas de árvores e jardins, lodos de estação de tratamento de esgoto, entre outros) (KAZA *et al.*, 2018). Quando mal manejados e sem uma destinação final adequada, a fração orgânica dos resíduos podem causar sérios prejuízos a sociedade, através da proliferação de doenças e emissão de gases de efeito estufa. Logicamente, a porcentagem que a fração orgânica representa dentro do total de resíduos gerados é dependente do nível social de cada nação, implicando que indicadores sociais devem ser considerados em avaliações de políticas públicas que visem o controle e o correto manejo desses resíduos.

Neste trabalho, nós estudamos a relação entre indicadores sociais relacionados a educação (anos de estudo efetivo, taxa de alfabetização e acesso à internet) e populacionais (índice de desenvolvimento humano-IDH, expectativa de vida, densidade populacional e população residente na zona urbana) e suas relações com a porcentagem de resíduos orgânicos gerados do total de RSU produzidos por 107 países de diversas regiões do mundo. Nós testamos a hipótese que o nível educacional e a

qualidade de vida das populações são inversamente proporcionais a geração de resíduos sólidos orgânicos globalmente.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Nós utilizamos uma lista de 107 países do Relatório de Desenvolvimento Humano de 2019 e a classificação detalhada dos tipos de resíduos sólidos gerados por cada país em porcentagem, disponível em Hoornweg e Bhada-Tata (2012). Os indicadores sociais relacionados a educação (anos de estudo efetivo, taxa de alfabetização e acesso à internet) e populacionais (índice de desenvolvimento humano, expectativa de vida, densidade populacional e população residente na zona urbana), foram obtidos na plataforma Síntese de Indicadores Sociais (SIS) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) disponível em <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/educacao/9221-sintese-de-indicadores-sociais.html>. A relação entre os indicadores sociais e a porcentagem de resíduos orgânicos gerados pelo conjunto de países foi obtida através de análise de regressão. A tendência e qualidade da relação entre as variáveis foi estabelecida com base no valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ). A análise dos dados foi realizada no Microsoft Excel (Versão 16.0).

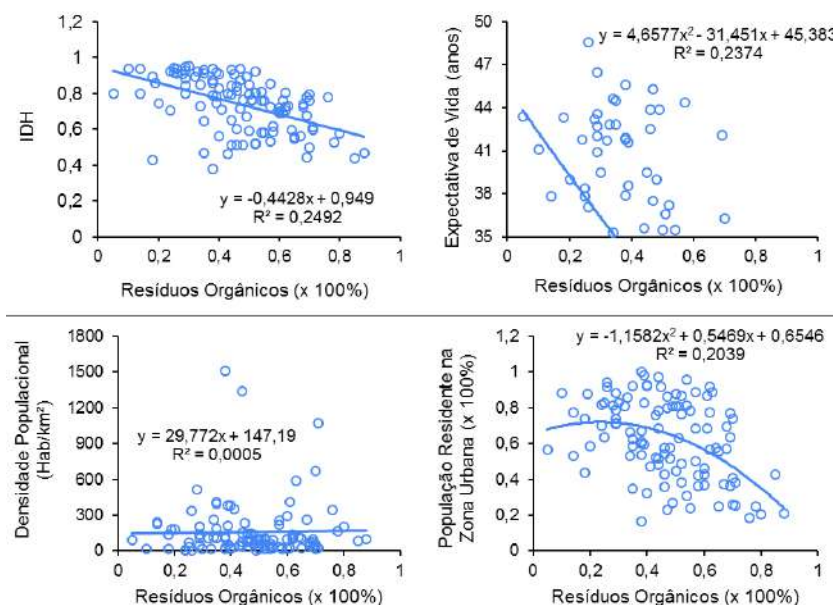
## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o nosso levantamento, o IDH apresentou uma relação linear inversa ( $R^2 = 0,2492$ ) com a geração de resíduos orgânicos (Figura 1). Isso significa que quanto maior o IDH de um país, menor será a proporção de resíduos orgânicos gerados.

Da mesma forma, a expectativa de vida dos indivíduos apresentou uma tendência inversa a porcentagem de resíduos orgânicos, sendo essa relação descrita por um modelo polinomial quadrático ( $R^2 = 0,2374$ ). No caso da densidade populacional, aparentemente, nós não observamos nenhuma relação entre essa variável e a porcentagem de resíduos orgânicos do total de RSU gerados. A melhor equação que descreveu a relação entre as variáveis foi a linear ( $R^2 = 0,0005$ ), indicando que países com número elevado de habitantes não necessariamente devem produzir volumes

elevados de resíduos orgânicos. Em contrapartida, no caso da percentagem da população residente na zona urbana, nós observamos a mesma relação polinomial inversa observada na relação entre a expectativa de vida e o percentual de resíduos orgânicos, más com o  $R^2$  de 0,2039.

**Figura 1 - IDH, Expectativa de Vida, Densidade Populacional e População em zona Urbana X Resíduos Sólidos Urbanos - Relação entre os indicadores sociais IDH, expectativa de vida (anos), densidade populacional (hab/km<sup>2</sup>) e população residente na zona urbana (%) e a percentagem de resíduos sólidos orgânicos gerados em diferentes países no mundo (n = 107)**

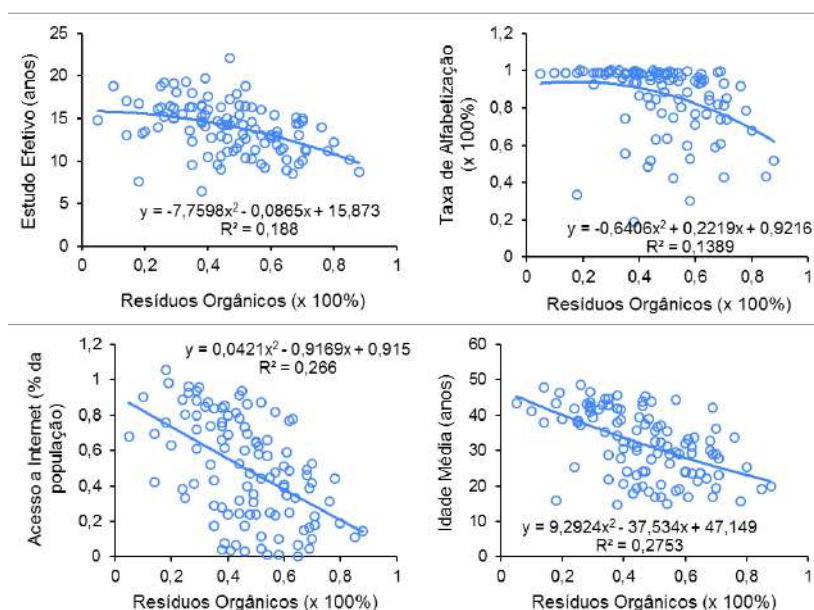


No caso dos indicadores sociais relacionados a educação, nós observamos uma relação inversa (modelo polinomial quadrático) tanto do tempo de estudo efetivo ( $R^2 = 0,188$ ) quanto a taxa de alfabetização ( $R^2 = 0,1389$ ) com a percentagem de resíduos orgânicos gerados (Figura 2). Isso indica que países com níveis educacionais superiores tendem a apresentarem uma menor proporção de resíduos orgânicos no conteúdo de RSU. Da mesma forma, o percentual da população com acesso à internet ( $R^2 = 0,266$ ) e a idade média da população ( $R^2 = 0,277$ ) apresentaram a mesma relação inversa com a



porcentagem de resíduos orgânicos. O maior percentual de acesso à internet e populações com idade média superior tendem a apresentar menores proporções de resíduos orgânicos no conjunto total de RSU. A idade média inclusive, tendo como base o valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), foi a variável em que o modelo polinomial quadrático ( $R^2 = 0,2753$ ) melhor descreveu a relação com o acúmulo de resíduos orgânicos.

**Figura 2 - Estudo efetivo, Taxa de Alfabetização, Acesso a Internet e Idade Média X Resíduos Sólidos Urbanos - Relação entre os indicadores sociais estudo efetivo (anos), taxa de alfabetização (%), acesso a internet (% da população) e idade média (anos) e a porcentagem de resíduos sólidos orgânicos gerados em diferentes países no mundo (n = 107)**



#### 4 CONCLUSÕES

Nossos resultados confirmaram que países com níveis econômicos, sociais e educacionais elevados tendem a produzir uma menor proporção de resíduos orgânicos no conjunto total de RSU, predominando, nesses casos, resíduos secos não-orgânicos como papel, vidro e eletrônicos. Em contrapartida, observamos que a densidade

populacional parece não ter influência da geração de resíduos orgânicos globalmente. De acordo com nossos resultados, a idade média da população foi o indicador que melhor descreveu a dinâmica da relação de aumento ou redução da geração de resíduos orgânicos por uma nação. Nossos resultados são importantes para o estabelecimento de estratégias e políticas públicas que visem a melhoria da gestão dos resíduos sólidos orgânicos dos diversos países do mundo.

## 5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Universidade Estadual do Ceará (UECE), em nome da Pró-Reitoria de Extensão (PROEX) pelo suporte financeiro (bolsa de estudos) para a realização e desenvolvimento deste trabalho.

## 6 REFERÊNCIAS

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. **What a waste: a global review of solid waste management**. Série de desenvolvimento urbano; artigos de conhecimento no. 15. Banco Mundial, Washington, DC. © Banco Mundial. Página modificada em mar. 2012. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388> Licença: CC BY 3.0 IGO.

IPEA- Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos**. Página modificada em 09 jul. 2020. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>. Acesso em: 15 out. 2020.

KAZA, S.; YAO, L. C.; BHADA-TATA, P.; VAN WOERDEN, F. 2018. **What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050**. Urban Development; Washington, DC: World Bank. © World Bank. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317> License: CC BY 3.0 IGO.

## FORMULAÇÃO DE SUBSTRATO SUSTENTÁVEL À BASE DE RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA

Luis C. L. Coelho<sup>\*1</sup>, Sávio da S. Berilli<sup>2</sup>, Pâmela V. Coelho<sup>1</sup>, Jhonathan Elias<sup>1</sup>,  
Dyonatha C. Quintanilha<sup>1</sup>, Hércules dos S. Pereira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Acadêmico de Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Campus Itapina, \*e-mail: loose.luis07@gmail.com.

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Campus Alegre.

**RESUMO:** O lodo de curtume é um subproduto do curtimento do couro de boi, o qual é gerado diariamente em grande quantidade, tendo potencial tóxico. A moinha é um subproduto da seca forçada do café, gerado em abundância nas unidades produtoras. Visando promover um destino sustentável para os dois resíduos, objetivou-se avaliar o desenvolvimento vegetativo de mudas de berinjela produzidas em substratos a base de moinha e lodo. O delineamento experimental utilizado foi o DBC, com oito tratamentos (substrato comercial; 100% moinha; 90% moinha + 10% lodo; 70% moinha + 30% lodo; 50% moinha + 50% lodo; 30% moinha + 70% lodo; 10% moinha + 90% lodo e 100% lodo) e seis repetições com oito plântulas por parcela. Aos 60 dias após o plantio, foram avaliados, altura da planta, número de folhas, massa fresca da raiz (MFR) e massa seca da raiz (MSR). Os dois resíduos se mostraram satisfatórios para produção de mudas de berinjela, permitindo que tenham um destino sustentável.

**Palavras-chave:** Lodo de curtume. Moinha de café. Agricultura.

**ABSTRACT:** Tannery sludge is a by-product of ox leather tanning, which is generated daily in large quantities, with toxic potential. The moinha is a by-product of the forced drought of coffee, generated in abundance in the production units. Aiming to promote a sustainable destination for both residues, the objective was to evaluate the vegetative development of eggplant seedlings produced on substrates based on moinha and sludge.

The experimental design used was DBC, with eight treatments (commercial substrate; 100% moinha; 90% moinha + 10% sludge; 70% moinha + 30% sludge; 50% moinha + 50% sludge; 30% moinha + 70% sludge ; 10% moinha + 90% sludge and 100% sludge) and six replicates with eight seedlings per plot. At 60 days after planting, plant height, number of leaves, fresh root weight (FRW) and dry root weight (DRW) were evaluated. Both residues proved to be satisfactory for the production of eggplant seedlings, allowing them to have a sustainable destination.

**Keywords:** Tannery sludge. Coffe moinha. Agriculture.

## 1 INTRODUÇÃO

O descarte inadequado de resíduos pode acarretar modificações nas particularidades do meio ambiente como um todo, quer seja no solo, água ou ar, causando ameaças à saúde do ser humano, animais e plantas (PEREIRA, 2002). As atividades industriais geram efluentes que se não tratados podem contaminar os corpos hídricos. As principais ocupações geradoras de resíduo são as refinarias de petróleo, indústrias químicas, têxteis e papelarias. No entanto, com menor aporte, as atividades agrícolas, esgotos sanitários e resíduos domésticos podem ser incluídas (FREIRE *et al.*, 2000). Alguns resíduos, se adequadamente compostados e tratados podem contribuir para agricultura, por conter elevados teores de compostos orgânicos e nutrientes, além de aumentar a capacidade de troca de cátions e fazer a correção da acidez do solo (JUNIOR *et al.*, 2005). O lodo de curtume é um subproduto do curtimento do couro de boi, o qual é gerado diariamente em grande quantidade, possuindo em sua composição elementos como cromo, que pode contaminar o ambiente (BERILLI *et al.*, 2018). Sua principal forma de descarte é o acondicionamento em depósitos ou aterros sanitários, os quais, segundo Konrad e Castilhos (2002) apresentam alto risco em virtude do acúmulo e da concentração de material potencialmente tóxico, que pode ser lixiviado e contaminar os aquíferos.

Estudos com foco no aproveitamento do lodo de curtume na produção de mudas de pimenta biquinho, maracujá amarelo e café conilon, tem comprovado seu

potencial como fonte de substrato mais barato e sustentável (BERILLI *et al.*, 2018; DE ALMEIDA *et al.*, 2017; DE SALES *et al.*, 2018). A moinha é um subproduto do café, formada por folhas, galhos, restos de inflorescências e grãos mal formados do próprio cafeeiro, que, quando secados juntamente com o mesmo, sofrem queima e são liberados do secador (KRAUSE *et al.*, 2017).

Tem sido utilizada como fonte alternativa de adubação de cafezais, apresenta uma baixa relação C/N, elevado conteúdo de matéria orgânica, e elevadas concentrações de potássio, fósforo e especialmente nitrogênio. Tem sido estudada visando o preparo de substratos para a produção de mudas de café, tomate e pepino (ALMEIDA *et al.*, 2018; KRAUSE *et al.*, 2017; MENEGHELLI *et al.*, 2017). Tendo em vista promover um destino sustentável para a moinha de café e o lodo de curtume, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desenvolvimento vegetativo de mudas de berinjela submetidas à tratamentos com os dois resíduos.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Dos materiais utilizados, o lodo de curtume foi cedido por um curtume localizado no município de Baixo Guandu – ES, sendo um resíduo do efluente do curtimento do couro bovino após desidratação. A moinha foi fornecida por produtores de café que possuem secadores próximos a região de Colatina – ES. A moinha, foi estabilizada através de compostagem, formando camadas intercaladas com grama seca (*Zoysia japonica*), revirada a cada 7 dias, até se completarem 50 dias de compostagem. O lodo de curtume foi desidratado para o preparo do composto. O experimento foi realizado no IFES – Campus Itapina, o delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados (DBC), com oito tratamentos (Tabela 1) e seis repetições, com oito plântulas por parcela.

**Tabela 1- Descrição dos tratamentos avaliados contendo lodo de curtume mais moinha, e suas diferentes concentrações, tendo como testemunha o substrato comercial (Bioplant®)**

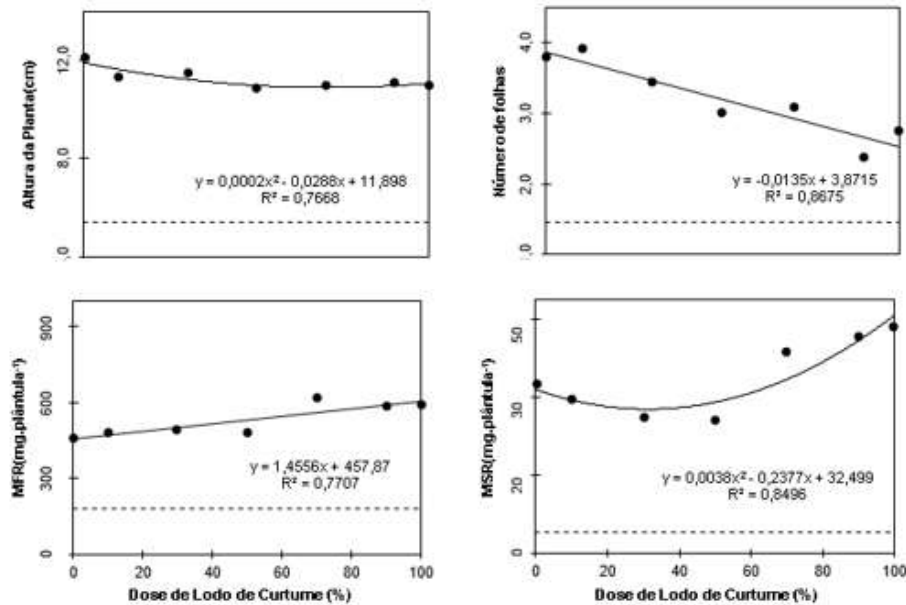
Tratamentos	Componente do Substrato
T1	100% Substrato Comercial (Bioplant)
T2	100% de Moinha
T3	10% de Lodo de Curtume + 90% de Moinha
T4	30% de Lodo de Curtume + 70% de Moinha
T5	50% de Lodo de Curtume + 50% de Moinha
T6	70% de Lodo de Curtume + 30% de Moinha
T7	90% de Lodo de Curtume + 10% de Moinha
T8	100% de Lodo de Curtume

A semeadura foi feita em bandeja de polipropileno, as quais foram mantidas em casa de vegetação com cobertura de sombrite com 50% de luminosidade. As avaliações ocorreram aos 60 dias após o plantio, sendo os parâmetros avaliados, altura da planta em cm, número de folhas, massa fresca da raiz (MFR) e massa seca da raiz (MSR) em mg.plântula<sup>-1</sup>. Os dados foram submetidos a análise de regressão, com o objetivo de avaliar a resposta das plântulas às doses crescentes de lodo de curtume no substrato.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As plântulas de berinjela apresentaram resultados satisfatórios mediante os tratamentos de moinha de café e lodo de curtume (Figura 1).

**Figura 1 – Regressões para os parâmetros biométricos e gravimétricos avaliados nas plântulas de berinjela. A linha pontilhada apresenta o valor de resposta ao tratamento com substrato comercial (T1). A linha contínua apresenta respostas às diferentes doses de Lodo de Curtume no substrato, juntamente com a Moinha**



Para os quatro parâmetros avaliados, os tratamentos que continham a moinha de café e / ou lodo de curtume conferiram valores de resposta muito superiores aos apresentados pelo substrato comercial. Diante desse resultado, podemos inferir que o lodo e a moinha provavelmente dispunham de maior quantidade de nutrientes, quando comparados com o substrato comercial, garantindo melhor desenvolvimento às mudas.

Acerca das crescentes doses de lodo de curtume no substrato, os parâmetros altura da planta e número de folhas responderam negativamente, isto é, à medida em que se aumentou a dose, houve um decréscimo nessas características. Segundo Berilli et. al. (2018), o lodo possui concentrações elevadas de sódio e cromo, o tornando salino, podendo causar um desequilíbrio osmótico nas células, alterando a fisiologia e anatomia da planta. Os parâmetros massa fresca e massa seca da raiz responderam positivamente ao aumento da dose de lodo no substrato, logo, a medida em que esta foi aumentada, houve um acréscimo nessas características. A dose de 100% de lodo resultou em incrementos de 32,8% e 61,5%, respectivamente para massa fresca da raiz e massa seca da raiz.

#### 4 CONCLUSÕES

Os dois resíduos têm um grande potencial na formulação de substratos para produção de mudas de berinjela, permitindo que tenham um destino sustentável.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela bolsa concedida.

#### 6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, K. M.; MONACO, P. A. V.; HADDADE, I. R.; KRAUSE, M. R.; GUI SOLFI, L. P.; MENEGHELLI, L. A. M. Efeito de diferentes proporções de moinha de café na composição de substratos alternativos para produção de mudas de pepino. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 17, n. 4, p. 515-522, 2018.

BERILLI, S. S.; PIREDA, S.; TRINDADE, F. G.; ZOOCA, A. A. F.; BERILLI, A. P. C. G.; DA CUNHA, M.; DE SALES, R. A. Effect of Substrate Treated with Tannery Sludge on Growth and Anatomy of Conilon Coffee Cuttings. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 22, n. 4, p. 1-10, 2018.

BERILLI, S. S.; PEREIRA, L. C.; PINHEIRO, A. P. B.; CAZAROTI, E. P. F.; DE SALES, R. A.; LIMA, C. F. Adubação foliar com lodo de curtume líquido no desenvolvimento e qualidade de mudas de maracujá-amarelo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 2, p. 2477-2486, 2018.

BERILLI, S. S.; ZOOCA, A. A. F.; FERRAZ, T. M.; FIGUEIREDO, F. A. M. M. A.; RODRIGUES, W. P.; BERILLI, A. P. C. G.; CAMPOSTRINI, E. Influence of tannery wastewater sludge doses on biometric and chlorophyll fluorescence parameters in conilon coffee. **Bioscience Journal**, v. 34, n. 3, p. 556-564, 2018.

DE ALMEIDA, R. N.; FERRAZ, D. R.; SILVA, A. S.; CUNHA, E. G.; VIEIRA, J. C.; SOUZA, T, S.; BERILLI, S, S. Utilização de lodo de curtume em complementação ao substrato comercial na produção de mudas de pimenta biquinho. **Scientia agraria**, v. 18, n. 1, p. 20-33, 2017.

DE SALES, R. A.; DE SALES, R. A.; PRANDO, J. F.; BERILLI, S. S.; BERILLI, A. P. C. G.; COELHO, M. B. Lodo de curtume como fonte alternativa na composição de substrato de mudas de *Passiflora edulis*. **Revista Ifes Ciência**, v. 4, n. 1, p. 104-114, 2018.

FREIRE, R. S.; PELEGRINI, R.; KUBOTA, L. T.; DURÁN, N.; PERALTA-ZAMORA, P. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Química nova**, v. 23, n. 4, p. 504-511, 2000.



JUNIOR, C. H. A.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. C. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: Propriedades químicas do solo e produção vegetal. **Tópicos em ciência do solo**, v. 4, p. 391-470, 2005.

KONRAD, E. E.; CASTILHOS, D. D. Alterações químicas do solo e crescimento do milho decorrentes da adição de lodos de curtume. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 1, p. 257-265, 2002.

KRAUSE, M. R.; MONACO, P. A. V. L.; HADDADE, I. R.; MENEGHELLI, L. A. M.; TAMARA, D. S. Aproveitamento de resíduos agrícolas na composição de substratos para produção de mudas de tomateiro. **Horticultura Brasileira**, v. 35, n. 2, p. 305-310, 2017.

MENEGHELLI, C. M.; MONACO, P. A. V. L.; HADDADE, I. R.; MENEGHELLI, L. A. M.; KRAUSE, M. R.; VIEIRA, G. H. S. Produção de mudas de café arábica em substrato composto por resíduo da secagem dos grãos. **Coffee Science**, v. 12, n. 3, p. 38-388, 2017.

PEREIRA, J. A. R. Geração de resíduos industriais e controle ambiental. **Centro Tecnológico da Universidade Federal do Pará**, v. 3, p. 121-139, 2002.

## GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS NOS PORTOS PÚBLICOS BRASILEIROS

Levi P. Lobato<sup>\*1</sup>, Darliane R. Cunha<sup>1</sup>, Diego L. Matos<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Maranhão, \*e-mail: levipires1@hotmail.com.

<sup>2</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão.

**RESUMO:** Em razão do transporte marítimo de cargas, diversos resíduos podem ser dispersos em espaços naturais protegidos ou lugares impróprios, acarretando problemas à comunidade local e à saúde pública. Assim, este artigo teve como objetivo avaliar se os dados divulgados referente ao gerenciamento de resíduos portuários estão de acordo com a legislação vigente, especialmente o disposto na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Os resultados da pesquisa evidenciaram que alguns portos divulgam informações que demonstra o cumprindo a legislação. Outros portos não divulgam informações suficientes para a avaliação. A enorme quantidade de resíduos decorrente da atividade portuária, não podem ser negligenciadas, reforçando a importância de uma política de planejamento e gerenciamento ambiental integrada, eficiente e padronizada. É necessário que continue havendo auditorias e fiscalizações nos portos para acompanhamento desses dados e um maior rigor na cobrança de informações e transparências dos portos públicos, pois existe uma grande dificuldade em encontrar informações e obter uma confiabilidade nos dados divulgados, tendo em vista que poucos são os portos que tem interesse em divulgar aspectos da sustentabilidade, em especial a gestão de resíduos.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade. Gerenciamento Ambiental. Resíduos Sólidos.

**ABSTRACT:** Due to the maritime transport of cargo, various residues can be dispersed in protected natural spaces or places of interest, causing problems for the local community and public health. Thus, this article aimed to assess whether the data released regarding waste management are in accordance with current legislation, especially the provisions of the National Solid Waste Policy (PNRS). The survey results showed that some ports release information that demonstrates compliance with the legislation. Other ports do not

release enough information for the assessment. The enormous amount of waste resulting from port activities cannot be neglected, reinforcing the importance of an integrated, efficient and standardized environmental planning and management policy. It is necessary that there continue to be audits and inspections in ports to monitor these data and a greater rigor in the collection of information and transparencies from public ports, as there is a great difficulty in finding information and obtaining reliability in the data disclosed, given that few are ports that are interested in disseminating aspects of sustainability, in particular waste management.

**Keywords:** Sustainability. Environmental Management. Solid waste.

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo a Agência Nacional de Transporte Aquaviário - ANTAQ, a atividade portuária viabiliza a movimentação de mais de 800 milhões de toneladas anualmente, de diversos itens, sendo responsável por mais de 90% da dinâmica física do comércio exterior. Dentro das atividades portuárias existem algumas que são potencialmente causadoras de impactos ambientais, com destaque para a geração de resíduos (ANTAQ, 2019). O presente artigo tem por objetivo avaliar se os dados divulgados referente ao gerenciamento de resíduos sólidos portuários brasileiros, baseado no conteúdo extraído dos sites dos dez portos públicos nacionais que possuíram maior movimentação de carga em 2018, no intuito de demonstrar a importância da sustentabilidade, em especial do gerenciamento de resíduos na atividade portuária através, principalmente, da ótica da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizado um estudo de natureza descritiva. O artigo ainda apresenta uma análise qualitativa, documental e bibliográfica, utilizando documentos de órgãos públicos especializados e outras referências. Os Portos selecionados com maior movimentação, em toneladas, no ano de 2018, estão detalhados no Quadro 1.

**Quadro 1 – Portos com maior movimentação (Toneladas/ano)**

PORTO	T/A
Santos	98.361.121
Paranaguá	44.812.120
Itaguaí	40.217.180
Rio Grande	23.697.760
Itaqui	23.558.523
Suape	21.926.949
Vila do Conde	13.112.522
Santarém	11.838.032
São Francisco do Sul	10.210.252
Rio de Janeiro	6.259.275

Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de dados da Antaq (2019).

Fonseca (2002) destaca que a pesquisa documental recorre a fontes mais diversificadas e dispersas, sem tratamento analítico, tais como: tabelas, estatísticas, jornais, revistas, relatórios, documentos oficiais, cartas, filmes, fotografias, pinturas, tapeçarias, relatórios de empresas, vídeos de programa de televisão, etc.

### 3 RESULTADOS

O Porto de Santos produz anualmente relatórios dos resíduos gerados por autoridades, embarcações e arrendatários. Esses relatórios, por sua vez, são discriminados por massa do resíduo (t), volume (m<sup>3</sup>) e unidades. Levando em conta os últimos relatórios publicados, de 2016, 2017 e 2018, percebeu-se que houve uma elevação muito grande da geração de resíduos na transição do ano de 2016, em que foram geradas 54.531,17 toneladas, para o ano de 2017, que registrou quase o dobro (93.948,87 toneladas). Em 2018, esse número reduziu para 77.491,37 toneladas de resíduos sólidos (SANTOS PORT AUTHORITY, 2019).

O Porto de Paranaguá, na sua página oficial, não publica informações precisas sobre a eficiência de sua política de gerenciamento de resíduos e nem relatórios técnicos

ou estatísticos, apenas cita algumas ações, tais como varrições mecanizadas e instalações de caçambas para coleta de resíduos e entulhos (PORTOS DO PARANÁ, 2019).

De todas as páginas oficiais pesquisadas, a do Porto de Itaguaí é a que contém menor quantidade de informações disponíveis. Mesmo sendo destaque em movimentação de cargas, só apresenta informações institucionais, operações e projetos, além da programação dos navios (DOCAS DO RIO, 2019).

No site oficial do Porto do Rio Grande é possível encontrar diversas informações sobre suas políticas de gestão ambiental, como, por exemplo, licenças, programas de educação, relatórios e lista de empresas credenciadas para atuar no gerenciamento dos resíduos sólidos. Contudo, fornece apenas indicadores atualizados do seu PGRS em 2017, no qual demonstra um crescimento de 25% no aumento de resíduos sólidos em comparação com o ano de 2016 (PORTO DO RIO GRANDE, 2018).

Já no site da empresa que administra o Porto do Itaquí existem diversas informações, além de um relatório anual de sustentabilidade, mostrando os resíduos gerados e suas respectivas quantidades (PORTO DO ITAQUI, 2019). Porém, os Gráficos e os números são mostrados em unidades de medidas diferentes, causando divergências para calcular o que foi produzido por volume, massa e unidade. Além de, em um dos Gráficos, ter um número diferente do que está no texto, não permitindo ter certeza se houve um aumento ou redução na produção de resíduos de determinado ano.

O Porto de Suape teve seu PGRS finalizado em 2014, todavia, o material não foi encontrado em sua página oficial. No site existe uma notícia comunicando que o porto produziu aproximadamente 3,2 toneladas de resíduos sólidos no primeiro trimestre de 2018, e que todos são resíduos recicláveis e foram destinados aos locais devidos (SUAPE, 2018).

Os Portos de Vila do Conde e Santarém, ambos administrados pela companhia Docas do Pará, não apresentaram nenhum indicador ou dado estatístico de sua gestão de resíduos sólidos. Apenas um informe institucional do seu PGRS, com algumas diretrizes a respeito da promoção de um desenvolvimento sustentável, mas a maioria são informações genéricas (COMPANHIA DOCAS DO PARÁ, 2018).

As publicações do Porto de São Francisco do Sul datam do ano de 2011, e não foi encontrado nenhum arquivo, além de um folder sobre o programa de gerenciamento de resíduos sólidos, falando de maneira bem breve e resumida sobre alguns tipos de resíduos encontrados na área portuária e como deve ser realizado o seu descarte. Destarte, não possui indicadores ou dados estáticos relevantes para análise (PORTO SÃO FRANCISCO DO SUL, 2019).

O Porto do Rio de Janeiro tinha estabelecido prazo para implementação do seu PGRS até o fim de 2019. Mas, até o presente momento, não consta nenhuma informação do site das Docas do Rio de Janeiro de que já esteja em prática. Nos portos de Angra dos Reis e Niterói já existem PGRS's elaborados e implementados pelos arrendatários (DOCAS DO RIO, 2019).

Destaca-se que a maior parte dos resultados encontrados neste trabalho estão em consonância com alguns produtos e conclusões de outras pesquisas recentes na área de gerenciamento de resíduos portuários como, por exemplo, aquelas realizadas por Gobbi *et al* (2015), no que diz respeito a falta de padronização na gestão de resíduos de alguns portos, e também por Silva, Rosa e Lunkers (2018), que destaca a importância do gerenciamento de resíduos sólidos em um contexto da gestão ambiental do próprio e para fins de comparação entre os portos através do Índice de Desempenho Ambiental (IDA) da ANTAQ.

#### 4 CONCLUSÕES

Após pesquisa realizada no site dos órgãos administradores dos portos públicos brasileiros citados na metodologia deste artigo, constatou-se que a maior parte destes possuem o Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos (PGRS) devidamente elaborados e disponíveis em seus sítios eletrônicos, já em outros, há apenas a informação de que o plano está em processo de elaboração, enquanto que em uma pequena parte não informações sobre o PGRS ou maiores detalhamentos sobre o processo de gestão dos resíduos sólidos.

Assim, salienta-se a necessidade de auditorias e fiscalizações contínuas nos portos para fins de acompanhamento da gestão ambiental portuária, em especial do

gerenciamento de resíduos, e um maior rigor na cobrança de informações e transparências dos portos públicos, tendo em vista a dificuldade no acesso a informações precisas e obtenção de dados acurados divulgados em sítios eletrônicos, pois, conforme pesquisa aqui realizada, poucos são os portos que tem interesse em divulgar aspectos mais detalhados da gestão de resíduos.

Este artigo tem como principais limitações o número reduzido de portos públicos na amostra. Entretanto, os portos selecionados são aqueles que tiveram maior movimentação de cargas no ano de 2018 e representam os principais portos públicos do Brasil.

## 5 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO - ANTAQ. **Sistema portuário brasileiro**. 2019. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/portaltv3/pdf/palestras/InfraestruturaDePortosColombia122011.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2020.

COMPANHIA DOCAS DO PARÁ. **Políticas, normas e procedimentos**. 2018. Disponível em: <https://www.cdp.com.br/legislacaoportuaria;jsessionid=F79668364D4303F8088DC-D1F2BF0AA18>. Acesso em: 22 jan. 2020.

DOCAS DO RIO. **Porto de Itaguaí**. 2019. Disponível em: <http://www.portosrio.gov.br/itaguaí/>. Acesso em: 12 jan. 2020.

FONSECA, J. J. S. **Apostila Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UECE, 2002. 127 p.

GOBBI, C. N.; SANCHES, V. M. L.; GUIMARAES, M. J. O. C.; FREITAS, M. A. V. Diagnóstico da geração de resíduos sólidos em portos brasileiros. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28., 2015. Rio de Janeiro, RJ. **Anais** [...] Rio de Janeiro, RJ: ABES, 2015.

PORTOS DO PARANÁ. **Meio ambiente & saúde e segurança**. 2019. Disponível em: <http://www.portosdoparana.pr.gov.br/>. Acesso em: 21 jan. 2020.

PORTO DO RIO GRANDE. **Responsabilidade ambiental**. 2018. Disponível em: [http://www.portosrs.com.br/site/responsabilidade\\_ambiental.php](http://www.portosrs.com.br/site/responsabilidade_ambiental.php). Acesso em: 31 jan. 2020.

PORTO DO ITAQUI. **Meio ambiente**. 2019. Disponível em: <http://www.portodoitaqui.ma.gov.br/emap/gestao/meio-ambiente>. Acesso em: 11 jan. 2020.



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS NATURAIS

PORTO SÃO FRANCISCO DO SUL. **Programas ambientais**. 2019. Disponível em: <https://www.portosaofrancisco.com.br/#/portal/content/programasambientais>. Acesso em: 02 fev. 2020.

SANTOS PORT AUTHORITY. **Gerenciamento de Resíduos**: Relatórios Anuais 2018. 2019. Disponível em: [https://www.portodesantos.com.br/outros-links/porto-sustentavel/#painel11\\_](https://www.portodesantos.com.br/outros-links/porto-sustentavel/#painel11_). Acesso em: 14 jan. 2020.

SILVA, L. C.; ROSA, F. S.; LUNKES, R. J. Estudo sobre desempenho ambiental de portos brasileiros. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 7, n. 1, p. 4-33, 2018.

SUAPE. **Suape destina mais de 3 toneladas de resíduos para reciclagem no 1º trimestre de 2018**. Página modificada em 13 abr. 2018. Disponível em: <http://www.suape.pe.gov.br/pt/noticias/1108-suape-destina-mais-de-3-toneladas-de-residuos-para-reciclagem-no-1-trimestre-de-2018>. Acesso em: 08 jan. 2020.



## GESTÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA PARA A PRODUÇÃO DE BIOPRODUTOS DA MICROALGA *RAPHIDOCELIS SUBCAPITATA*

Ian da S. Andrade<sup>\*1</sup>, Gabriele R. Conceição<sup>2</sup>, Fábio A. Chinalia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduação em Biotecnologia, Instituto de Ciências da Saúde, Universidade Federal da Bahia, \*e-mail: ian.s.andrade3@gmail.com.

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Instituto de Ciências da Saúde, Universidade Federal da Bahia.

<sup>3</sup>Instituto de Ciências da Saúde, Universidade Federal da Bahia.

**RESUMO:** Estima-se que o Brasil produza mais de 340 bilhões de litros de vinhaça anualmente durante produção de etanol. Esse resíduo possui significativa carga orgânica e técnicas de tratamento são importantes para o seu descarte na natureza. O objetivo desse estudo é tratar a vinhaça utilizando a microalga para produzir biomassa e bioprodutos de importância comercial. Três réplicas experimentais foram cultivadas em duas concentrações de vinhaça, uma diluída a 10gO<sub>2</sub>/L (Vin10DQO) e outra a 5gO<sub>2</sub>/L (Vin5DQO). O primeiro tratamento mostrou o melhor resultado na produtividade de biomassa e no coeficiente de crescimento específico ( $\mu$ ) quando comparado ao tratamento 02. No entanto, baseado no acúmulo de clorofila, o melhor resultado foi observado no tratamento Vin5DQO. Ambos os tratamentos obtiveram taxas de remoção de nutrientes acima de 70%. A produção de lipídeos obteve resultados similares nas duas diluições de vinhaça sendo apenas 24% menor que no meio sintético BG-11. Portanto, além de produzir bioprodutos e biomassa algal de valor agregado, esse processo funciona também como um tratamento biológico alternativo para a vinhaça.

**Palavras-chave:** Vinhaça. Microalga. Biorremediação.

**ABSTRACT:** It is estimated that Brazil produces more than 340 billion liters of vinasse annually during ethanol production. This waste has a significant organic load and treatment techniques are important for its disposal in nature. The objective of this study is

to treat vinasse using microalgae to produce biomass and bioproducts of commercial value. Three experimental replicates were grown in two concentrations of vinasse, one diluted to  $10\text{gO}_2 / \text{L}$  (Vin10DQO) and the other to  $5\text{gO}_2 / \text{L}$  (Vin5DQO). The first treatment showed the best biomass productivity and in the specific growth coefficient ( $\mu$ ) when compared to treatment 02. However, based on the accumulation of chlorophyll, the best result was observed in the Vin5DQO treatment. Both treatments achieved nutrient removal rates above 70%. The production of lipids obtained similar results in the two dilutions of vinasse, being only 24% lower than in the synthetic medium BG-11. Therefore, in addition to producing value-added bioproducts and algal biomass, this process also functions as an alternative biological treatment for vinasse.

**Keywords:** Vinasse. Microalgae. Bioremediation.

## 1 INTRODUÇÃO

A substituição progressiva de combustíveis fósseis por biocombustíveis acarreta gradual interesse numa transição para uma economia mais amistosa. A provável elevação da produção de bioetanol pelas destilarias induz necessariamente a um aumento significativo na geração do efluente agregado, a vinhaça (HOARAU *et al.*, 2018).

Independentemente da matéria-prima utilizada, indústrias de etanol geram cerca de 10 a 15 L de vinhaça por litro de etanol produzido (OLIVEIRA *et al.*, 2013). Admitindo uma taxa média de 13 L de vinhaça por litro de etanol, uma única destilaria de escala relativamente grande,  $365.000 \text{ m}^3$  por ano (DIAS *et al.*, 2011) poderia produzir anualmente até 4,7 bilhões de litros de vinhaça. Em particular a indústria do etanol proveniente da cana-de-açúcar, ao produzir 10 L de álcool geralmente libera em média 130 L de vinhaça; 250 kg de bagaço por tonelada de cana; 94 kg de açúcar (GUNKEL *et al.*, 2006).

A produção brasileira de etanol a partir da cana e milho alcançou, respectivamente cerca de 33,8 bilhões e 1,6 bilhões de litros em 2019 (CONAB, 2019), o que corresponde a aproximadamente 53% da produção de etanol a partir de milho nos EUA no mesmo período (EIA, 2019). Como tal, espera-se que a produção de bioetanol

continue crescendo na próxima década, atingindo 134 bilhões de litros em 2024, com os maiores produtores sendo Estados Unidos, Brasil, União Europeia e China (OECD, 2015). Entretanto, a caracterização abrangente do etanol como uma tecnologia autossustentável também depende do manejo adequado da vinhaça, a principal água residual das destilarias. Devido ao seu alto impacto poluidor, caracterizado por usa alta demanda química de oxigênio, a despoluição desse efluente é recomendado antes de sua liberação na natureza (HOARAU *et al.*, 2018).

A microalga *Raphidocelis subcapitata* é conhecida por oferecer capacidade de remoção de toxicidade de meios contaminados e possuir metabolismo capaz de responder as divergentes condições ambientais, podendo acumular biomassa e bioprodutos por meios autotrófico, heterotrófico ou mixotrófico (MORENO-GARCIA *et al.*, 2017). Portanto, o objetivo deste estudo foi produzir biomassa e bioprodutos de microalgas com importância comercial utilizando a vinhaça como meio de cultivo em diferentes concentrações anexo à um tratamento eficiente da vinhaça para um descarte com menor carga poluidora no ambiente, agregando valor comercial a este resíduo ao se propor uma posterior produção de biodiesel (FERREIRA *et al.*, 2019).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A vinhaça bruta foi cedida pela Agrovale (Agro-Indústrias do Vale do São Francisco S.A.). Todas as vinhaças passaram por decantação, sendo coletada apenas o sobrenadante e tiveram o pH corrigido para 7,0. A cepa de *Raphidocelis subcapitata* foi cultivada em meios composto por vinhaça diluída a 10g O<sub>2</sub>/L (Vin10DQO) e 5g O<sub>2</sub>/L (Vin5DQO) suplementada com nitrato de sódio (NaNO<sub>3</sub>) e fosfato de potássio (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) para atingir os valores presentes na composição do meio sintético BG-11.

Três réplicas experimentais foram cultivadas durante 6 dias em erlemeyers de 1 L. contendo 540 mL de meio sob condições de fotoperíodo 12h:12h (claro/escuro), intensidade luminosa de 3500 lux, agitação 85 rpm, aeração com ar atmosférico e temperatura de 25 °C ± 1 °C. Monitoramento relativo ao crescimento foi feito através da densidade ótica (DO680nm), teor de clorofila  $\alpha$  e pH. No início e ao fim do cultivo, amostras foram analisadas quanto à concentração de fosfato, nitrato e DQO. Ao fim do

cultivo, a biomassa foi centrifugada e liofilizada para a extração de lipídeos pelo método clorofórmio:metanol (2:1).

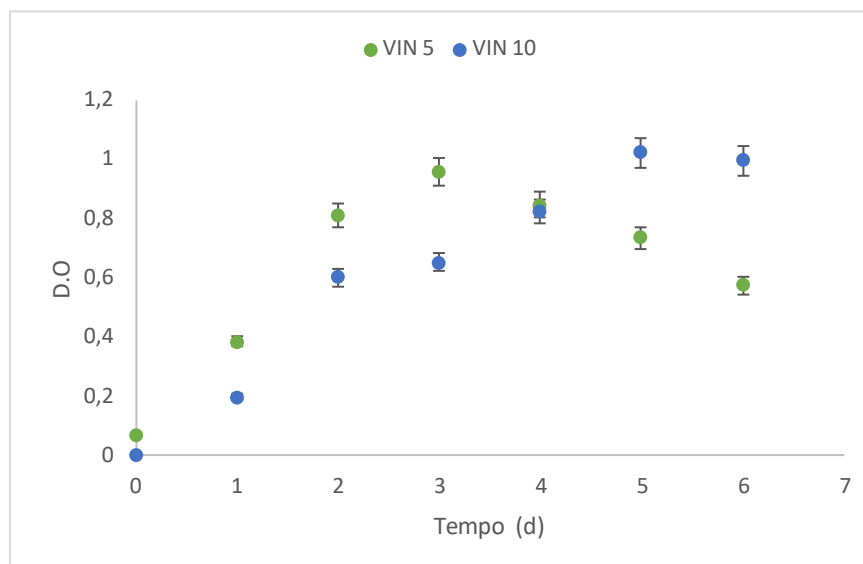
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra a cinética de crescimento da microalga nas duas vinhaças. O melhor tratamento foi Vin10DQO em relação ao acúmulo de biomassa, enquanto a Vin5DQO foi a que obteve o melhor resultado em relação ao acúmulo de clorofila (Tabela 1). Não é possível afirmar que os dados obtidos de crescimento através do monitoramento de densidade ótica (DO) sejam integralmente da microalga. A vinhaça é um meio rico em nutrientes e propício para o crescimento de vários microrganismos (HOARAU *et al.*, 2018). Por outro lado, essas microalgas podem também crescer de forma mixotrófica com baixa produção de clorofila. Quanto a produção de clorofila, percebe-se que o acúmulo desta reflete diretamente a densidade de algas no tratamento Vin5DQO. Portanto, esse tratamento mostrou uma variação 1,5x maior que na primeira condição. É possível que esse resultado tenha sido consequência da menor turbidez da vinhaça nesse tratamento. A cor escura da vinhaça também interfere na incidência da luz, e conseqüentemente na fotossíntese realizada pela microalga.

A redução da carga orgânica da vinhaça após o cultivo, observada na Tabela 2 é proveniente do crescimento microalgal. A Vin10DQO dispõe de maior carga orgânica (alta DQO) e menor disponibilidade de luz (maior turbidez da vinhaça). Em complemento, Vin5DQO é o inverso da anterior tanto na carga orgânica quanto na turbidez. Ambos os tratamentos indicam alto teor de remoção de nutrientes, acima de 82 % tanto para o nitrato quanto para o fosfato. Em relação à DQO, Vin5DQO teve uma maior remoção (87,56 %) que Vin10DQO (72,65 %). Estabelecendo assim, bons indicadores para um tratamento prévio da vinhaça antes do seu descarte.

b

**Figura 1 - Curva de crescimento da *R. subcapitata***



**Tabela 1 - Análise dos parâmetros cinéticos**

	VIN10DQO	VIN5DQO
<b>Produtividade de biomassa (<math>\text{g L}^{-1} \text{d}^{-1}</math>)</b>	0,130 ( $\pm 0,01$ )	0,119 ( $\pm 0,01$ )
<b><math>\mu</math> específico biomassa (<math>\text{d}^{-1}</math>)</b>	0,063 ( $\pm 0,00$ )	0,060 ( $\pm 0,00$ )
<b>Produtividade de clorofila (<math>\mu\text{g L}^{-1} \text{d}^{-1}</math>)</b>	0,072 ( $\pm 0,01$ )	0,141 ( $\pm 0,03$ )
<b><math>\mu</math> específico clorofila (<math>\text{d}^{-1}</math>)</b>	0,081 ( $\pm 0,01$ )	0,121 ( $\pm 0,02$ )
<b>Produtividade Lipídica (<math>\text{mg L}^{-1} \text{d}^{-1}</math>)</b>	24,97	25,13
<b>% Lipídeos</b>	19,21 ( $\pm 0,92$ )	21,12 ( $\pm 1,82$ )

No quesito síntese de bioprodutos, o acúmulo lipídico alcançou cerca de 20 % da biomassa microalgal. Esse resultado é próximo ao obtido com o meio sintético que foi de 26 % (dados não mostrados). Essa integração de tratamento de efluentes e produção de lipídios agrega valor comercial ao resíduo que poderá ser usado numa posterior produção de biocombustíveis, como o biodiesel (CHISTI, 2007). Estas características auxiliam os processos industriais a se tornarem sustentáveis em termos ambientais e econômicos (SOCCOL *et al.*, 2016). Em resumo, estudos como este, sugerem que esta é uma alternativa viável, no entanto, ainda existem desafios em relação à baixa

transmitância da luz, as altas concentrações de compostos que podem inibir o crescimento algal.

**Tabela 2 - Análises Químicas**

	<b>Nutrientes</b>	<b>Antes Cultivo</b>	<b>Pós Cultivo</b>	<b>Remoção (%)</b>
<b>VIN10 DQO</b>	Nitrato (mg/L)	849,28 (±83,3)	3,23 (±0,2)	>95
	Fosfato (ug/L)	523,33 (±5,4)	16,71 (±0,9)	>95
	DQO (g/L)	9,3 (±0,28)	2,53 (±0,04)	72,65%
<b>VIN5 DQO</b>	Nitrato (mg/L)	1131,24 (±135)	199,04 (±7,6)	82,40%
	Fosfato (ug/L)	599,66 (±22,2)	46,28 (±0,7)	92,28%
	DQO (g/L)	3,92 (±0,27)	0,49 (±0,001)	87,56%

#### 4 CONCLUSÕES

Baseado nos dados de clorofila, o melhor crescimento ocorreu na Vin5DQO. O cultivo de microalga diminuiu significativamente a concentração de nutrientes (N, P e carga orgânica), em pelo menos 70 %. A composição lipídica celular mostrou resultados similares nas duas condições. Portanto, percebe-se que esta forma de gerenciamento associado a valoração de efluentes industriais pode viabilizar a síntese de biocombustíveis de terceira geração decorrentes dos ácidos graxos acumulados. Essa é uma promessa de uma tecnologia sustentável e, com manejo adequado, pode reduzir significativamente o impacto desse resíduo da agroindústria.

#### 5 AGRADECIMENTOS

A Agrovale e ao Laboratório de Bioprospecção e Biotecnologia (UFBA) por ceder a vinhaça e a microalga, respectivamente.

## 6 REFERÊNCIAS

- CHISTI, Y. Biodiesel from microalgae. **Biotechnology advances**, v. 25, n. 3, p. 294-306, 2007.
- CONAB, 2019. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, quarto levantamento, dezembro/2019**. Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana/boletim-da-safra-de-cana-de-acucar>.
- DE OLIVEIRA, B. G.; CARVALHO, J. L. N.; CERRI, C. E. P.; CERRI, C. C.; FEIGL, B. J. Soil greenhouse gas fluxes from vinasse application in Brazilian sugarcane areas. **Geoderma**, v. 200-201, p. 77-84, 2013.
- DIAS, M. O. S.; CUNHA, M. P.; JESUS, C. D. F.; ROCHA, G. J. M.; PRADELLA, J. G. C.; ROSSELL, C. E. V.; MACIEL FILHO, R.; BONOMI, A. Second generation ethanol in Brazil: can it compete with electricity production. **Bioresource technology**, v. 102, n. 19, p. 8964-8971, 2011.
- EIA, 2019. **Monthly Energy Review: Renewable Energy e Fuel Ethanol Overview, December/2019**. U.S. Energy Information Administration, Washington, DC. Disponível em: [http://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/sec10\\_7.pdf](http://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/sec10_7.pdf). Acesso em 20 jan. 2020.
- FERREIRA, G. F.; RÍOS PINTO, L. F.; MACIEL FILHO, R.; FREGOLENTE, L. V. A review on lipid production from microalgae: Association between cultivation using waste streams and fatty acid profiles. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 109, p. 448-466, 2019.
- GUNKEL, G.; KOSMOL, J.; SOBRAL, M.; ROHN, H.; MONTENEGRO, S.; AURELIANO, J. Sugar cane industry as a source of water pollution—Case study on the situation in Ipojuca River, Pernambuco, Brazil. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 180, n. 1-4, p. 261-269, 2007.
- HOARAU, J.; CARO, Y.; GRONDIN, I.; PETIT, T. Sugarcane vinasse processing: Toward a status shift from waste to valuable resource. A review. **Journal of water process engineering**, v. 24, p. 11-25, 2018.
- MORENO-GARCIA, L.; ADJALLÉ, K.; BARNABÉ, S.; RAGHAVAN, G. S. V. Microalgae biomass production for a biorefinery system: recent advances and the way towards sustainability. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 76, p. 493-506, 2017.
- OECD, Development of the World Ethanol Market, (2015) Paris. Disponível em: [http://www.oecd-ilibrary.org/content/graph/agr\\_outlook-2015-graph105-en](http://www.oecd-ilibrary.org/content/graph/agr_outlook-2015-graph105-en). Acesso em 20 jan. 2020.
- SOCOL, C. R.; BRAR, S. K.; FAULDS, C.; RAMOS, L. P. **Green fuels technology: Biofuels**. 1st ed. Switzerland: Springer, 2016. 572 p.

## GROWTH PERFORMANCE OF *PSEUDOKIRCHNERIELLA SUBCAPITATA* ON DILUTED OR PRETREATED VINASSE

Carine S. da Silva\*<sup>1</sup>, Gabriele R. Conceição<sup>1</sup>, Fábio A. Chinalia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Instituto de Ciências da Saúde, Universidade Federal da Bahia, \*e-mail: carinesouzasilva@hotmail.com.

<sup>2</sup>Instituto de Ciências da Saúde, Universidade Federal da Bahia.

**RESUMO:** Biocombustíveis oriundos de microalgas despontam como uma alternativa para substituir os combustíveis fósseis. No entanto, a implantação da produção em escala industrial desse tipo de biocombustível sofre ainda com as limitações econômicas. Para superar essa barreira, a vinhaça, resíduo da indústria do etanol, têm sido sugeridas como alternativa para meio de cultivo. Esse estudo reporta os resultados obtidos com o cultivo de *Pseudokirchneriella subcapitata* em vinhaça diluída ou tratada em digestor anaeróbio. Foram testadas diferentes suplementações de nitrato e fosfato e a melhor produção de biomassa foi obtida no tratamento vinhaça diluída suplementada com 0,44 g/L seguido pelo cultivo em efluente do digestor anaeróbio com 0,37 g/L. A produtividade lipídica foi de 9,71 e 2,96 mg/L/d, respectivamente. A taxa de remoção de nitrato, fosfato, e DQO foram acima de 69 % para o cultivo com vinhaça diluída suplementada, enquanto, o cultivo em efluente do digestor anaeróbio apresentou uma remoção acima de 90 %.

**Palavras-chave:** *Pseudokirchneriella subcapitata*. Vinhaça tratada. Lipídeos.

**ABSTRACT:** Biofuels from microalgae are emerging as an alternative to replace fossil fuels. However, the implementation of industrial scale production of this type of biofuel is hindered by economic limitations. In order to overcome this barrier, growth media prepared with vinasse has been suggested as an alternative for lowering the costs. This study reports the results obtained with *Pseudokirchneriella subcapitata* growth performances in diluted vinasse or anaerobically pretreated vinasse. Nitrate and phosphate supplementations were also tested and the best biomass production rate was



observed when using the N and P supplemented diluted vinasse (0.44 g / L) followed by neat anaerobically pretreated vinasse (0.37 g / L). Lipid productivity was of 9.71 and 2.96 mg / L / d, respectively. The removal rate of nitrate, phosphate, and COD was above 69 % for the cultivation with supplemented diluted vinasse, while the cultivation in neat anaerobically treated vinasse was above 90 %.

**Keywords:** *Pseudokirchneriella subcapitata*. Treated vinasse. Lipids.

## 1 INTRODUCTION

Fossil oil is the most used natural resource currently available in the world. In average, fossil oil production in April 2018 reached 31.65 million barrels/day (IEA, 2018). Emissions from the processes of using such a resource is the cause of climate change. It increases atmospheric accumulation of carbon dioxide. On the other hand, biofuels are an alternative to replace fossil oil consumption and their use reduces the effect of climate change (MORONE, 2016). The production of biofuels is carried out by recycling the available atmospheric carbon dioxide without causing further accumulations.

Biodiesel can be produced from plant or animal sources. Production of oil from microalgae shows several advantages when compared with what is obtained with plants. For example, organic production rates are up to 100 times more in liters / hectare / year when using algae than with plants. In addition, this process is achieved with significant water savings (NASCIMENTO, 2013). However, the industrial scale implementation of this process is still limited by economic shortfalls with the costs expended with media and culturing conditions. Oil from plants is apparently less expensive because of mass production. Thus, the final value of microalgae biodiesel is currently two folds higher than the current value of diesel in the market.

Brazilian produces ethanol biofuel on a large scale. On the other hand, vinasse, which is a liquid waste, is also produced in high volumes. An average of 13L of vinasse is generated for each liter of ethanol (SEABRA, 2008). In 2019, the production of vinasse reached 466 billion liters. Part of this effluent is being used as a fertilizer due to its organic/inorganic contents, however, negative effects is observed after long term

applications (MARQUES *et al.*, 2013). Anaerobic digestion process is being considered as an alternative for pretreating vinasse before environmental discharge or reuse. The goal is to reduce vinasse organic load simultaneously with the production of biogas; which is also another type of biofuel (MORAES *et al.*, 2015). Anaerobic digestion changes organic nitrogen and phosphorus to inorganic substances more suitable for being assimilated by microalgae. Therefore, this work aims to compare the performance of algal growth in diluted and anaerobically treated vinasse. Dilution of vinasse is used as a pretreatment procedure before algal culturing for it reduces turbidity and color of this effluent. These are important variables affecting light transmittance that can affect algal photosynthetic performance.

## 2 MATERIAL AND METHODS

### 2.1 Vinasse

Microalgae cultures were carried out in media with vinasse diluted to 10g O<sub>2</sub> / L COD (VIN) and with neat effluent from the anaerobic digester treating vinasse (EFV) (Figure 1). The acronym COD refers to the chemical demand of oxygen. The raw vinasse was collected at the sugar and alcohol company Agrovale (Agro-Indústrias do Vale do São Francisco S.A.). Vinasse treated by anaerobic digestion, or the effluent from the anaerobic digester (DA), was obtained from a batch digester (EFV). The effluent was collected at the end of each batch cycle and subsequently filtered to retain the solids. All effluents had the pH corrected to 7.0.

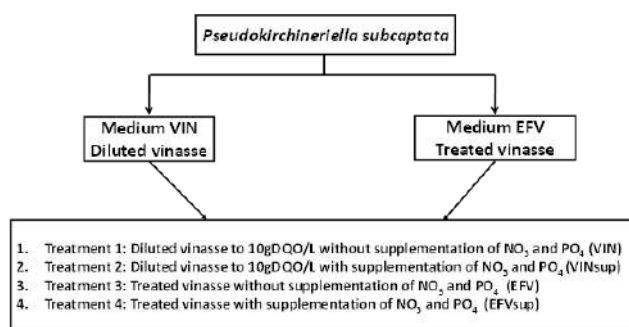
### 2.2 Microorganisms and culturing media

The *Pseudokirchneriella subcapitata* strain was provided by the Microalgae Bank Iracema Nascimento (BMIN) of the Bioprospecting and Biotechnology Laboratory (LaBBiotec) of the Federal University of Bahia. The culture medium used for maintaining the inoculum was the BG-11 medium.

### 2.3 Experimental trials

The experiments were designed to test the effects of nitrate and phosphate supplements to the diluted vinasse and pretreated vinasse by anaerobic digestion (Figure 1). The experiments were identified as VIN for diluted vinasse and VINsup for diluted vinasse supplemented with nitrate and phosphate. On the other hand, the pretreated vinasse from the anaerobic digester identified as EFV, and the treatments with nitrate and phosphate supplementation are identified as EFVsup.

**Figure 1 - Flowchart identifying the different treatments prepared to test the growth performance of *Pseudokirchneriella subcapitata* in diluted vinasse and pretreated vinasse by anaerobic digestion**



Nutrient supplementations were made with sodium nitrate ( $\text{NaNO}_3$ ) and potassium phosphate ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ). Three experimental replicates were grown for 8 days in 1L conical fotobioreactors containing 500mL of prepared medium and incubated under 12h:12h (light: dark) photoperiod, luminous intensity of 3500 lux, agitation 100 rpm, aeration with atmospheric air enriched with 2.5%  $\text{CO}_2$ , and temperature of  $25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

#### 2.4 Chemical analyses

Cells density was determined daily by optical density (OD) 680 nm. Aliquots were removed every 48 hours for monitoring the content of chlorophyll  $\alpha$ , carotenoids and pH according to Cabanelas *et al.* (2013). At the beginning and at the end of the growth curve, samples were centrifuged, and the supernatant was analyzed for the concentration of phosphate, potassium, nitrate, ammonia and COD (APHA, 1995). Algal biomass was

recovered by centrifugation at 5000 rpm for 5 minutes, and later, lyophilized. Total lipid content was determined using the chloroform/methanol method (FREEMAN, 1957).

### 3 RESULT AND DISCUSSION

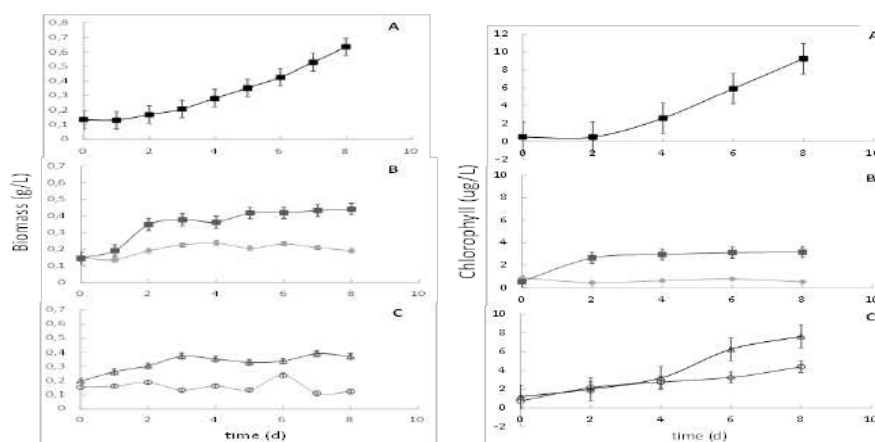
*Pseudokirchneriella subcapitata* belongs to the Chlorophyceae family showing fast growth and metabolic rates for photosynthesis and significant potential for lipid accumulation (SIPAÚBA-TAVARES *et al.*, 2009; ARANTES, 2010). Figure 2 shows that *P subcapitata* growth performance was higher in the experiment with diluted vinasse with nitrate and phosphate supplementation (VINsup). The first 2 days were essential for the observed result that accumulated 2.3 times more for the VINsup treatment when compared to VIN.

On the other hand, nutrient supplementation did not result in a significant improvement when using anaerobically pretreated vinasse. In the EFV treatment, for instance, it is observed that there was a higher accumulation of biomass at the end of the cultivation than what was observed with the effluent supplemented with nitrate and phosphate (EFVsup). This is also supported by the chlorophyll  $\alpha$  data (7.6  $\mu\text{g/L}$  of chlorophyll  $\alpha$  in EFV is 1.7 higher than observed with EFVsup). Thus nutrient supplementation did not have a positive effect with anaerobically pretreated vinasse. It is known that anaerobic digestion process already provides significant amounts of inorganic nutrients.

The results also show that the biomass / lipid ratio of *P. subcapitata* was higher in the VINsup than FVsup treatment (34 and 20%, respectively) (Table 1). This ratio was even lower for the other treatments (10 and 23% for VIN and EFV, respectively). The lower lipid ratio obtained with the pretreated vinasse trial when compared to the diluted vinasse trial is contrary to what was reported by Del Río *et al.* (2017). It is possible that the excess supplementation of nutrient is responsible for this result. For example, when the cell's nitrogen levels drop lipid is accumulated at higher rates. The photosynthetic fixed carbon is diverted from protein synthesis to lipid or carbohydrate synthesis in such a condition (MARQUES *et al.*, 2013).

Nutrient removal efficiency is summarized in Table 2. In the treatment with EFV the following removal ratios were observed, 90% ammonia, 98% phosphate, and 17% COD. It is known that the higher the concentration of organic load, the better the efficiency of its removal by bacteria in systems that are not limited by oxygen (WANG *et al.*, 2015). As culturing is carried out with oxygen supplementation, bacteria can also grow and reduce organic loading. VIN and VINsup treatments nutrient removal varied from 38 and 60% for ammonia, 4 and 78% for nitrate, 73 and 95% for COD, respectively. These removal values are higher than that reported by Loió *et al.* (2013), when culturing *C. vulgaris* in diluted vinasse.

**Figure 2 - *Pseudokirchneriella subcapitata* biomass and chlorophyll growth curves in (A) ■ control BG-11 medium; (B) ▲ diluted vinasse (VIN) and ● diluted vinasse with NO<sub>3</sub> and PO<sub>4</sub> supplementation (VINsup); (C) Δ anaerobically pretreated vinasse and ○ anaerobically pretreated vinasse with NO<sub>3</sub> and PO<sub>4</sub> supplementation (EFVsup)**



**Table 1 - *Pseudokirchneriella subcapitata* kinetic variable in the experiments**

	<b>Vinasse</b>	<b>Supplemente d Vinasse</b>	<b>Effluent</b>	<b>Supplemente d Effluent</b>
<b><math>\mu</math> (d<sup>-1</sup>)</b>	<b>0,024</b> (± 0,15)	<b>0,042</b> (± 0,29)	<b>0,020</b> (± 0,15)	<b>0,014</b> (± 0,15)
<b>Biomass Productivity (g/L/d)</b>	<b>0,015</b> (± 0,02)	<b>0,028</b> (± 0,02)	<b>0,012</b> (± 0,04)	<b>0,006</b> (± 0,07)
<b>Total Productivity (g/L)</b>	<b>0,190</b> (±0,1)	<b>0,441</b> (±0,1)	<b>0,373</b> (±0,2)	<b>0,124</b> (±0,1)
<b>% de Lipids</b>	<b>10,9</b> (± 1,5%)	<b>34,7</b> (± 0,5%)	<b>23,5</b> (± 4%)	<b>20,7</b> (± 0,3%)
<b>Lipid Productivity (mg/L/D)</b>	<b>1,63</b> (±1,5)	<b>9,71</b> (±0,6)	<b>2,96</b> (±0,7)	<b>1,28</b> (±0,2)

**Table 2 - Chemical characterization of the distinct vinasse media before and after *Pseudokirchneriella subcapitata* experiments**

	<b>VIN</b>	<b>VINsup</b>	<b>EFV</b>	<b>EFV sup</b>
<b>Ammonia (mgNH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/L)</b>	0,863 (± 0,002)	0,858 (± 0,012)	0,546 (± 0,001)	7,74 (± 0,104)
<b>Ammonia Removal Rate (%)</b>	60,2	38,1	90,3	80,7
<b>Phosphate (mgPO<sub>4</sub>-P/L)</b>	5,883 (± 0,019)	20,187 (± 0,035)	0,075 (± 0,003)	25,346 (± 0,009)
<b>Phosphate Removal Rate (%)</b>	70,3	69,4	98,0	37,8
<b>Nitrate (mgNO<sub>3</sub>-N/L)</b>	0,045 (± 0,001)	1156 (± 0,11)	<LD	1127,3 (± 0,02)
<b>Nitrate Removal Rate (%)</b>	4,4	78,9	*	66,5
<b>CDO (g/L)</b>	9,472 (± 0,068)	9,375 (± 0,023)	2,377 (± 0,034)	1,413 (± 0,008)
<b>COD Removal Rate (%)</b>	73,4	>95	17,2	70,1

#### 4 CONCLUSION

The best biomass production was obtained using the VINsup treatment with 0.44 g/L; which was followed by the EFV treatment with 0.37 g/L. The same tendency was observed for lipid productivity rates 9.71 mg/L/d and 2.96 mg/L/d for VINsup and EFV, respectively. Nitrate, phosphate, and COD removal ratios were above 69% in the VINsup treatment, whereas in EFV the removal ratio was above 90%. Nutrient supplementation of diluted vinasse was important to increase the biomass / lipid ratio, but it did not affect the results with anaerobically pretreated vinasse.

## 5 REFERENCES

APHA (American Public Health Association). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19 ed. Washington: APHA; 1995.

ARANTES, Poliana Beatriz. **Influência do herbicida glifosato (n-(fosfonometil) glicina) na formação de biomassa da alga *Pseudokirchneriella subcapitata* (Chlorophyceae)**. 2010. 92 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Ecologia) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro, Rio Claro, 2010.

CABANELAS, I. T. D.; ARBIB, Z.; CHINALIA, F. A.; SOUZA, C. O.; PERALES, J. A.; ALMEIDA, P. F.; DRUZIAN, J. I.; NASCIMENTO, I. A. From waste to energy: microalgae production in wastewater and glycerol. **Applied Energy**, v. 109, p. 283-290, 2013.

FREEMAN, N.; LINDGREN, Y.; NICHOLS, A. Serum lipid analysis by chromatography and infrared spectrophotometry. **Journal of Biological Chemistry**, v. 277, pg. 449–464, 1957.

IEA, 2018. **Oil Market Report**. Disponível em <https://www.iea.org/oilmarketreport/omrpublic/>. Acesso em 30 mai. 2018.

MARQUES, S. S. I.; NASCIMENTO, I. A.; DE ALMEIDA, P. F.; CHINALIA, F. A. Growth of *Chlorella vulgaris* on sugarcane vinasse: the effect of anaerobic digestion pretreatment. **Applied Biochemical and Biotechnology**, v. 171, n. 8, p. 1933-1943, 2013.

MORAES, B. S.; ZAIAT, M.; BONONI, A. Anaerobic digestion of vinasse from sugar cane ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 44, p. 888–903, 2015.

MORONE, P.; COTTONI, L. **Biofuels: technology, economics, and policy issues**. Handbook of biofuels production, 2 ed. Italy: Elsevier, p. 61-83, 2016.

NASCIMENTO, I. A.; MARQUES, S. S. I.; CABANELAS, I. T. D.; PEREIRA, S. A.; DRUZIAN, J. I.; SOUZA, C. O.; VICH, D. V.; CARVALHO, G. C.; NASCIMENTO, M. A. Screening Microalgae Strains for Biodiesel Production: Lipid Productivity and Estimation of Fuel Quality Based on Fatty Acids Profiles as Selective Criteria. **Bioenergy Research**, v. 6, n. 1, p. 1–13, 2013.

RIBAS, M. M. F.; CHINALIA, F. A.; POZZI, E.; FORESTI, E. Microbial Succession Within an Anaerobic Sequencing Batch Biofilm Reactor (ASBBR) Treating Cane Vinasse at 55°C. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 52, n. 4, p.1027-1036, 2009.

SEABRA, Joaquim Eugênio Abel. **Análise de opções tecnológicas para uso integral da biomassa no setor de cana-de-açúcar e suas implicações**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2008.

SIPAÚBA-TAVARES, L. H.; IBARRA, L. C. C.; FIORESI, T. B. Cultivo de *Ankistrodesmus gracilis* (reisch) Korsikov (Chlorophyta) em laboratório utilizando meio CHU12 e de macrófita com NPK. **Boletim do Instituto de Pesca**, v. 35. n. 1, p. 111-118, 2009.



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS NATURAIS

WANG, Y.; GUO, W.; YEN, H. W.; HO, S. H.; LO, Y. C.; CHENG, C. L.; REN, N.; CHANG, J. S. Cultivation of *Chlorella vulgaris* JSC-6 with swine wastewater for simultaneous nutrient/COD removal and carbohydrate production. **Bioresource Technology**. v. 198, p. 619-625, 2015.



**INFLUÊNCIA DO CICLO CIRCADIANO NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ÓLEO  
ESSENCIAL DE *MARSYPIANTHES CHAMAEDRYS* DO NORTE DO ESTADO DO  
CEARÁ (BRASIL)**

**Jean P. C. Vale\*<sup>1</sup>, Hécio S. Santos<sup>2</sup>, Paulo N. Bandeira<sup>2</sup>, Tigressa H. S. Rodrigues<sup>3</sup>.**

<sup>1</sup>Curso de Licenciatura em Química, Universidade Estadual Vale do Acaraú, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, \*e-mail: jeanvale1513@gmail.com.

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciência e Tecnologia.

<sup>3</sup>Universidade Estadual Vale do Acaraú, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia.

**RESUMO:** As plantas são fontes naturais de diversas substâncias bioativas, encontradas em extratos, metabólitos secundários e óleos essenciais. Os óleos essenciais (OE's) são definidos como produtos do metabolismo secundário das plantas, que podem ser extraídos de diferentes partes da planta como flores, frutos, sementes, folhas, caule, cascas e raízes. *Marsypianthes chamaedrysis* (*Lamiaceae*) (Figura 1) uma planta popularmente conhecida como paracari, capim-cobra, bóia-caá ou betônia brava, ocorrendo principalmente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil e importantes propriedades biológicas são atribuídas às suas espécies, como atividade antiofídica, potencial analgésico e antiinflamatório. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi investigar o ciclo circadiano dos OE's de *M. chamaedrysis* presentes no Norte do Ceará. O material biológico (partes aéreas) de *M. chamaedrysis* foi coletado em ciclo circadiano às 6 h, 12 h e 17 h. Os OE's foram extraídos por hidrodestilação e analisados em GC-MS. Os componentes principais identificados, foram os sesquiterpenos:  $\beta$ -cariofileno (1), germacreno D (2) e biciclogermacreno (3) (Tabela 1). De acordo com alguns estudos na literatura, o  $\beta$ -cariofileno sesquiterpeno possui propriedades antiinflamatórias, anestésicas e antimicrobianas. Germacrene D é um precursor biossintético de outros sesquiterpenos. Diante dos resultados, constatou-se que os diferentes períodos diário que a coleta foi realizada pouco influenciou na composição química volátil de *M. chamaedrysis* do Norte do Ceará.

**Palavras-chave:** *M. chamaedrys*. Sesquiterpenos. Ciclo Circadiano.

**ABSTRACT:** Plants are natural sources of several bioactive substances, found in extracts, secondary metabolites and essential oils. Essential oils (OE's) are defined as products of the secondary metabolism of plants, which can be extracted from different parts of the plant such as flowers, fruits, seeds, leaves, stem, bark and roots. *Marsypianthes chamaedrysis* (*Lamiaceae*) (Figura 1) a plant popularly known as paracari, snake grass, buoy-caá or wild betony, occurring mainly in the North and Northeast regions of Brazil and important biological properties are attributed to its species, as an antiophidic activity, analgesic and anti-inflammatory potential. In this sense, the objective of this study was to investigate the circadian cycle of OE's of *M.chamaedrys* present in the North of Ceará. The biological material (aerial parts) of *M. chamaedrys* was collected in a circadian cycle at 6 h, 12 h and 17 h. The OE's were extracted by hydrodistillation and analyzed in GC-MS. The main components identified were the sesquiterpenes:  $\beta$ -karyophyllene (1), germacrene D (2) and bicyclogermacrene (3) (Table 1). According to some studies in the literature,  $\beta$ -karyophyllene sesquiterpene has anti-inflammatory, anesthetic and antimicrobial properties. Germacrene D is a biosynthetic precursor to other sesquiterpenes. In view of the results, it was found that the different daily periods that the collection was carried out had little influence on the volatile chemical composition of *M. chamaedrys* from Northern Ceará.

**Keywords:** *M. chamaedrys*. Sesquiterpenes. Circadian Rhythm.

## 1 INTRODUÇÃO

O homem serviu-se da natureza para sua sobrevivência, utilizando produtos minerais, animais e plantas para construção de casas, confecções de ferramentas, roupas, utensílios domésticos, entre outros (GASPAR, 2009). Ao decorrer do tempo, observando a natureza, começou a identificar as propriedades curativas das plantas. Estas propriedades foram difundidas de geração em geração, surgindo assim a chamada “medicina popular. Dentro desse contexto, nota-se que as plantas, consideradas

“medicinais” desde tempos remotos foram utilizadas como um importante e talvez um dos poucos, meios terapêuticos existentes para prevenção, tratamento e cura de enfermidades de pessoas e animais (GOOBO-NETTO, 2007).

A *Marsypianthes chamaedrys*, (Vahl) Kuntze, é uma planta da família *Lamiaceae*, que por sua vez possui um grande número de gêneros reportados como medicinais na literatura, em todo o mundo. Destaca-se uma relevante característica dessa família é o fato ter grande valor no mercado, por serem usadas como condimentos, alimentos, e na indústria de perfumes e cosméticos (ERNANDES; SILVA, 2008). Sobre as características dessa planta, ressalta-se que ela é rasteira, aromática, possui folhas simples, membranáceas, pecioladas, com flores na coloração violeta disposta em fascículos (MORAIS, 2009; HASHIMOTO; FERREIRA, 2020), conforme demonstra a Figura 1, abaixo.

**Figura 1 - *M. chamaedrys***



Fonte: Elaborado pelos autores.

Existem poucas informações sobre *Marsypianthes chamaedrys*, entretanto, é reportado na literatura seu efeito sobre processos inflamatórios e propriedades antiofídicas (CASTRO *et al.*, 2003). Alguns dos compostos isolados como esteroides (lupeol,  $\alpha$  e  $\beta$ -sitosterol), terpenóides (ácido ursólico,  $\alpha$  e  $\beta$ -amirina) e flavonoides (rutina) têm ação anti-inflamatória conhecida e estão presentes em inúmeras outras plantas com atividade antiofídica comprovada (VALE *et al.*, 2018). Logo, percebe-se o indicativo da relevância da planta e um aprofundamento sobre seus constituintes se faz necessário.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Material biológico

O material biológico (partes aéreas) de *M. chamaedrys* foi coletado na cidade de Sobral/ CE, nas proximidades da Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA) Campus Betânia, nas coordenadas latitude sul 3°40'37.9" e longitude oeste 40°19'59.1", no mês de abril de 2019, em ciclo circadiano às 6 h, 12 h e 17 h. A espécie foi identificada pelo Prof. Dr. Elnatan Bezerra de Souza, e uma exsicata da espécie está registrada no Herbário Prof. Francisco José de Abreu Matos (HUVA), com o número de tombo 18.439.

### 2.2 Extração do óleo essencial

O óleo essencial foi obtido utilizando o processo da hidrodestilação em aparelho modificado de Clevenger, utilizando-se as partes áreas do vegetal, adicionando-se água destilada até a metade do balão de 5,0 litros, aquecendo-se aproximadamente 1000 mL de água destilada, até atingir à temperatura de 100 °C, por um período de aproximadamente 2 h. Em seguida o óleo essencial foi coletado utilizando pipeta Pasteur, e seco com Sulfato de Sódio anidro (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) e armazenados em vidro âmbar invólucro em papel alumínio, armazenados em freezer, para posterior identificação química.

### 2.3 Cromatografia Gasosa Acoplada à Espectrometria de Massas (CG-MS) – determinação de voláteis de óleo essencial

A análise por CG-EM foi realizada em um instrumento Agilent modelo GC-7890B /MSD-5977A (quadropolo), com impacto de elétrons a 70 eV, coluna HP-5MS metilpolisiloxano (30 m x 0,25 mm x 0,25 µm, Agilent), modo de injeção com divisão de fluxo 1:100, gás carreador hélio com fluxo 1,00 mL.min<sup>-1</sup> (8,8 psi) e velocidade linear constante de 36,8 cm.s<sup>-1</sup>, temperatura do injetor 250 °C, temperatura do detector 150 °C, temperatura da linha de transferência 280 °C. Programação do forno cromatográfico,

temperatura inicial de 70 °C, com rampa de aquecimento de 4 °C.min<sup>-1</sup> até 180 °C e acréscimo de 10 °C/min até 250 °C ao término da corrida (34,5 min).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

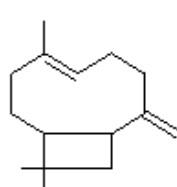
#### 3.1 Identificação dos compostos

O óleo essencial das partes áreas de *Marsypianthes chamaedrys* obtido, foi analisado por GC-MS e determinada a composição química durante o ciclo circadiano. A (tabela I) apresenta 13 componentes majoritários presentes no OE do ciclo circadiano. A variação na hora da coleta do material biológico, não influenciou significativamente na composição de seus componentes voláteis, apresentando a mesma tendência de componentes majoritários.

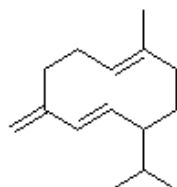
**Tabela 1 - Influência do ciclo circadiano nas concentrações dos componentes majoritários do óleo essencial de *M. chamaedrys***

Composto	IK <sub>literatura</sub>	IR <sub>literatura</sub>	Área (%)		
			6 h	12 h	17 h
trans-3-Hexen-1-ol	853	844		1.05	2.09
trans-beta-Ocimene	1050	1044	1.40	1.14	0.96
Linalool	1096	1095	1.45	1.73	1.57
δ-Elemene	1338	1335	2.32	2.16	2.74
β-Elemene	1390	1389	1.63	1.70	1.50
<b>*1β-Caryophyllene</b>	<b>1419</b>	<b>1417</b>	<b>27.80</b>	<b>26.00</b>	<b>27.75</b>
α-Caryophyllene	1454	1452	3.88	3.10	3.23
<b>*2Germacrene D</b>	<b>1481</b>	<b>1480</b>	<b>24.30</b>	<b>25.94</b>	<b>26.82</b>
β-Selinene	1490	1489	1.96	2.32	2.49
<b>*3Bicyclgermacrene</b>	<b>1500</b>	<b>1500</b>	<b>12.93</b>	<b>13.46</b>	<b>11.93</b>
α-Cadinene	1538	1537	4.66	4.97	4.76

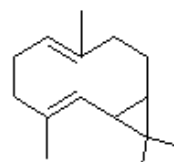
Caryophyllene oxide	1583	1582	5.13	5.12	2.99
$\beta$ -Acorenol	1637	1636	12.54	7.56	8.21
Total			97.15	92.33	92.04



1  $\beta$ -Caryophyllene



2 Germacrene D



3 Bicyclogerma

#### 4 CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, constatou-se que os diferentes períodos diário que a coleta foi realizada, (às 6 h, 12 h e 17 h.), pouco influenciou na composição química volátil de *M. chamaedrys* do Norte do Estado do Ceará.

#### 5 AGRADECIMENTOS

A UVA e a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio e apoio financeiro respectivamente.

#### REFERÊNCIAS

CASTRO, K. N. C.; CARVALHO, A. L. O.; ALMEIDA, A. P.; OLIVEIRA, D. B.; BORBA, H. R.; COSTA S. S. Preliminary in vitro studies on the *Marsipianthes chamaedrys* (bóia-caá) extracts at fibrinoclotting induced by snake venoms. **Toxicon**, v. 41, n. 7, p. 929-932, 2003.

FERNANDES, Juliana; SILVA, Darana Camurati da. **Avaliação Do Potencial Antiinflamatório do Extrato da Marsipianthes chamaedrys (Vahl) Kuntze em camundongos (Mus musculus) swiss**. 2008. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Guarulhos, Guarulhos, 2008.

GASPAR, L. **Plantas Medicinais**. Pesquisa Escolar Online. Recife: Fundação Joaquim Nabuco. Publicado em 8 de setembro de 2009. Disponível em: [http://basilio.fundaj.gov.br/pesquisaescolar/index.php?option=com\\_content&id=627](http://basilio.fundaj.gov.br/pesquisaescolar/index.php?option=com_content&id=627)

GOBBO-NETO, L.; LOPES, N. P. Plantas medicinais: fatores de influência no conteúdo de metabólitos secundários. **Química Nova**, v. 30, n. 2, p. 374-381, 2007.



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS NATURAIS

HASHIMOTO, M. Y.; FERREIRA, H. D. Taxonomic study of *Marsypianthes* Mart. ex Benth. (Hyptidinae, Lamiaceae) in Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 34, n. 2, p. 277-289, 2020

MORAIS, L. A. S. Influência dos fatores abióticos na composição química dos óleos essenciais. **Horticultura Brasileira.**, v. 27, p. S4050-S4063, 2009.

VALE, J. P. C.; MATHIAS, S. S.; SANTOS, S. H.; NOGUEIRA, P. N.; RODRIGUES, T. H. S. Caracterização química e atividade antifúngica do óleo essencial de *Marsypianthes chamaedrys*. In: CONGRESSO BRASILEIRO QUÍMICA. 58., 2018, São Luis, MA. **Anais** [...] São Luis, MA: UFMA, 2018.

## NANOCOMPÓSITOS DE QUITOSANA COMO BIOADSORVENTES DE METAIS PESADOS: UMA REVISÃO DE LITERATURA

João L. I. O. Almeida<sup>1\*</sup>, Nádia A. P. Pinheiro<sup>1</sup>, Flávia O. M. S. Abreu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, \*e-mail: joao.isidio@aluno.uece.br.

**RESUMO:** A busca por bioadsorventes para aplicação no tratamento de água tem crescido com o objetivo de tornar o processo mais eficiente e com um menor custo associado. A quitosana é um polissacarídeo cujos estudos já demonstram boa eficiência como bioadsorvente, devido à suas propriedades de biodegradabilidade, abundância e baixo custo de obtenção. Para melhorar ainda mais a sua eficiência pode-se combinar com outros materiais formando compósitos, onde os trabalhos com nanocompósitos tem se apresentado recentemente como boas alternativas na remoção de poluentes presentes. Em face das perspectivas promissoras da aplicação destes materiais como bioadsorventes, a presente revisão busca compilar trabalhos dos últimos 10 anos referente à remoção de chumbo e cádmio por nanocompósitos a base de quitosana, destacando as condições ideais de pH e temperatura, os modelos cinéticos e as isotermas, bem como uma análise comparativa da capacidade de adsorção. Os nanocompósitos a base de quitosana demonstraram melhores resultados que os materiais tradicionais, tornando-os uma excelente alternativa para o tratamento de água devido ao seu alto potencial adsorvente associado a uma boa relação de custo-benefício.

**Palavras-chave:** Adsorção. Biopolímeros. Biodegradável. Tratamento de água

**ABSTRACT:** The search for bioadsorbents for application in water treatment has grown with the aim of making water treatment a more efficient process with a lower associated cost. Chitosan is a polysaccharide whose studies have already shown good efficiency as a bioadsorbents, due to its biodegradability properties, abundance and low cost of production. To improve its efficiency, chitosan can be combined with other materials to



form composites, where nanocomposites stand out recently in the literature as an alternative to remove several types of pollutants. In view of the promising prospects for the application of these materials as bioadsorbers, the present review seeks to compile works from the last 15 years regarding the removal of lead and cadmium by chitosan-based nanocomposites, highlighting the ideal conditions of pH and temperature, kinetic patterns and isotherms, as well as a comparative analysis of the adsorption capacity. Nanocomposites have shown to have high potential as a bio-absorbent material, with better results than traditional materials, making them an excellent alternative for water treatment with a good cost-benefit ratio.

**Keywords:** Adsorption. Biopolymers. Biodegradability. Water treatment.

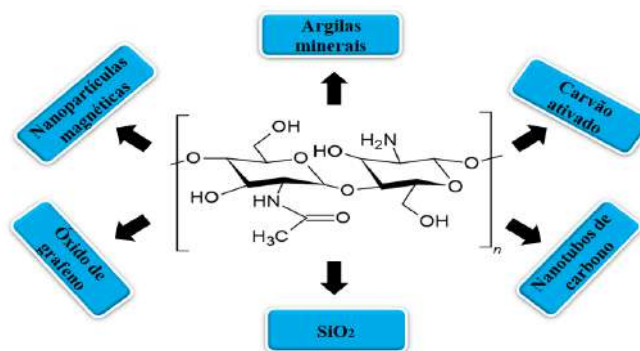
## 1 INTRODUÇÃO

A quitosana é um polissacarídeo abundante obtido através da desacetilação da quitina, cuja principal fonte é a carapaça de crustáceos, como caranguejos e camarões (YANG *et al.*, 2016). Possui aplicações em diversos ramos industriais como na área de cosméticos, biomédica, alimentícia, ambiental, indústria têxtil entre outras, devido suas propriedades de biodegradabilidade e não toxicidade, bem como a capacidade de formação de géis e membranas (LIMA JUNIOR; ABREU, 2018). Diversos estudos relatam sua aplicação na área ambiental no tratamento de água sob a forma de material bioadsorvente e/ou floculante entre outras, devido a sua capacidade adsortiva associada ao baixo custo. Apesar das características favoráveis, a quitosana se solubiliza em meio ácido devido à protonação dos grupos amino ( $-NH_3^+$ ) formando um polieletrólito catiônico, o que reduz a sua eficiência nessas condições a depender do poluente devido à solubilização (LIAO *et al.*, 2016).

Com o avanço dos materiais compósitos e o desenvolvimento de materiais em escala manométrica, os nanocompositos poliméricos se destacam como excelente alternativa para produção de bioadsorventes, devido às suas características de elevada área superficial, estabilidade química, estabilidade térmica e disponibilidade dos materiais para a realização da síntese (SUMAN *et al.*, 2015). Os nanocompósitos

possuem pelo menos uma das dimensões em escala nanométrica, podendo ser formados pela união de materiais orgânicos e inorgânicos. Nanocompósitos a base de quitosana podem ser obtidos através da junção com diversos materiais inorgânicos, cujos mais utilizados podem ser vistos na Figura 1 (REDDY; LEE, 2013). Assim sendo, o nanocompósito de quitosana pode apresentar propriedades únicas, como elevada área superficial e grande quantidade de diferentes sítios que podem interagir com diversos poluentes, o que possibilita um aumento considerável na eficiência de adsorção tornando-os assim alternativas promissoras para despoluição e tratamento das águas.

**Figura 1 - Principais materiais utilizados na síntese de nanocompósitos**



## 2 ADSORÇÃO DE METAIS

A capacidade da quitosana de atuar como bioadsorvente de metais surge da possibilidade de interações com íons metálicos por parte dos grupos amino e hidroxilas que permitem a remoção de cátions e ânions metálicos, porém em meio ácido sua solubilização pode limitar sua aplicação devido a redução na eficiência (KANMANI *et al.*, 2017). Diversos estudos relatados na literatura demonstram a elevada capacidade de nanocompósitos adsorver diferentes íons metálicos sob diversas condições quando em comparação com a quitosana, indicando serem materiais mais eficientes. A Tabela 1 sumariza os resultados obtidos nestes estudos indicando o material, as condições de pH e temperatura ideais, os modelos cinéticos e de isoterma, bem como a capacidade de adsorção dos materiais.

## 2.1 Chumbo

Nasiri, Arsalani e Panahian (2011), utilizando o compósito a base de ferrita de níquel e óxido de grafeno obtiveram uma capacidade de adsorção de  $957.28 \text{ mg.g}^{-1}$ , obtendo 100% de eficiência nas condições otimizadas: pH 8.5, 36 mg de adsorvente, e tempo de contato de 18 minutos através da realização de análise estatística utilizando a metodologia de superfície de resposta. A grande área superficial do óxido de grafeno, além dos seus grupos funcionais junto aos da quitosana e da nanopartícula contribuem para o elevado valor de capacidade de adsorção obtido.

Estudos realizados por Pourjavadi *et al.* (2015) utilizando o nanocompósito com ácido acrílico e nanosilica demonstraram que o material apresentou uma capacidade máxima de adsorção de  $799 \text{ mg.g}^{-1}$  em pH 5.5 e temperatura de 298 K. Os modelos cinéticos e de equilíbrio que melhor descreveram o processo foram, respectivamente, o de pseudo primeira ordem e o de Langmuir. O pH nesta condição possibilita a desprotonação dos grupos carboxílicos formando carboxilatos ( $-\text{COO}^-$ ) que contribuem para a eficiência na adsorção, além da rede estrutural do hidrogel que possui uma elevada área superficial, e dos grupos funcionais da quitosana e do ácido acrílico enxertado que possibilitam que o material possua diversos grupos com capacidade adsorvente.

O nanocompósito de quitosana com hidróxido duplo de Al e Mg apresentou uma capacidade de adsorção de  $333.3 \text{ mg.g}^{-1}$  em uma faixa ampla de pH que foi de 3 a 6, influenciada pelo potencial zeta do material. O modelo que melhor descreveu a cinética do processo foi o de pseudo segunda ordem, e o equilíbrio foi descrito pelo modelo de Langmuir. A grande característica do material se dá pela presença do hidróxido duplo, pois o mesmo possui um grande espaço interlamelar que possibilita a difusão dos íons metálicos, além de sítios interiores que podem ser utilizados para troca iônica elevando a eficiência em relação ao material de partida segundo estudos de Lyu e colaboradores (2019).

Hu *et al.* (2020) obtiveram uma capacidade máxima de adsorção de  $204.89 \text{ mg.g}^{-1}$  utilizando o nanocompósito magnético com ácido poliacrílico em pH ideal 6 e temperatura de 308.2 K, indicando um processo de adsorção endotérmico. Os Valores

foram maiores do que os componentes isolados, que foram de  $79.56 \text{ mg.g}^{-1}$  para as nanopartículas de  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  e  $108.52 \text{ mg.g}^{-1}$  para as nanopartículas com quitosana. O processo de adsorção segue o modelo cinético de pseudo segunda ordem e da isoterma de Langmuir. Fica evidente que o nanocompósito apresenta melhor eficiência que os materiais de partida, muito em função dos grupamentos acrílicos que apresentam boa afinidade pelo  $\text{Pb}^{+2}$ .

Zarei, Marjani e Soltani (2019), obtiveram uma capacidade máxima de adsorção de  $168 \text{ mg.g}^{-1}$  em pH 9, temperatura de 328 K, utilizando 20 mg de adsorvente e um tempo de contato de 100 minutos, além de concluírem que o processo é endotérmico, obedece ao modelo cinético de pseudo segunda ordem e a isoterma de Langmuir. O caráter mesoporos da naonosílica e a área superficial do nanocompósito tornam sua capacidade de adsorção excelente. O material de Nasiri, Arsalani e Panahian (2011), se demonstrou mais eficiente que os demais por ter a maior área superficial e estrutura porosa que contribuem mais fortemente para a adsorção de  $\text{Pb}^{+2}$ .

## 2.2 Cádmió

A adsorção de  $\text{Cd}^{+2}$  foi estudada por Sharififard *et al.* (2018), obtendo uma capacidade máxima de adsorção de  $344 \text{ mg.g}^{-1}$  em pH 6 e temperatura de 298 K indicando um processo exotérmico seguindo os modelos de pseudo segunda ordem para a cinética e de Langmuir para o equilíbrio. Alizadeh, Delnavaz e Shakeri (2018) sintetizaram o nanocompósito magnético com EDTA e  $\text{TiO}_2$  com elevada afinidade por íons metálicos pelos diversos grupos funcionais provenientes da quitosana e do EDTA. Obtiveram uma capacidade máxima de adsorção de  $209.205 \text{ mg.g}^{-1}$  em faixa ideal de pH entre 5 e 6, cujo processo melhor se adequou ao modelo cinético de pseudo segunda ordem e a isoterma de Langmuir.

Lyu *et al.* (2019) também estudaram a adsorção de  $\text{Cd}^{+2}$  pelo nanocompósito de quitosana com hidróxido duplo de Al e Mg. Obtiveram uma faixa ideal de pH para adsorção de 4 a 8, além do processo concordar com a cinética de pseudo segunda ordem e a isoterma de Langmuir, cuja capacidade máxima de adsorção demonstrou um valor de  $140.8 \text{ mg.g}^{-1}$ , em grande parte devido a estrutura do nanocompósito como já

mencionado no item 2.1.1. Salam, Makki e Abdelaal (2011) utilizando o nanocompósito a base de nanotubos obtiveram uma remoção de 99% de íons  $\text{Cd}^{+2}$  em adsorção em coluna, com temperatura ideal de 313 K demonstrando ser o processo de natureza endotérmica, além de pH ideal 10. A estrutura porosa e elevada área superficial dos nanotubos possibilitam uma elevada eficiência na remoção do metal, atuando em conjunto com os grupos funcionais da quitosana, tornando o material excelente para aplicação. O material sintetizado por Sharifard *et al.* (2018), se demonstrou mais eficiente devido a elevada área superficial do carvão ativado e a inserção de grupos hidroxila das nanopartículas magnéticas.

### 2.3 Adsorção de outros metais

Ji *et al.* (2018) estudaram a adsorção de  $\text{Cr}^{+6}$  utilizando o nanocompósito a base de quitosana com polipirrol, onde obtiveram uma capacidade máxima de adsorção de  $401 \text{ mg.g}^{-1}$  em pH ideal igual a 2, sendo a cinética do processo descrita pelo modelo de pseudo segunda ordem e o equilíbrio pela isoterma de Langmuir. Nanocompósitos de quitosana a base de óxido de grafeno (TRAN *et al.*, 2019) e a base de óxidos de ferro (SAMUEL *et al.*, 2019) foram reportados na literatura para a adsorção de  $\text{Cr}^{+6}$ . Para o primeiro utilizou-se uma dosagem de  $0.04 \text{ mg.mL}^{-1}$ . Os resultados dos estudos demonstraram que a temperatura ideal foi de 303 K, indicando um processo espontâneo e endotérmico, pH ideal igual a 3. Para o segundo obtiveram uma capacidade máxima de adsorção de  $104,16 \text{ mg.g}^{-1}$  em pH 2 utilizando a concentração de adsorvente de  $0,5 \text{ g.L}^{-1}$ . A cinética do processo foi descrita pelo modelo de pseudo segunda ordem e o equilíbrio pela isoterma de Langmuir.



Tabela 1 - Capacidade de adsorção e condições ideais dos nanocompósitos de quitosana para adsorção de metais

Nanocompósito	Metal	pH	Temperatura (K)	Modelo cinético	Isoterma	Capacidade adsorção (mg/g)	Referência
Quitosana com carvão ativado magnético	Cd <sup>+2</sup>	6	298	Pseudo segunda ordem	Langmuir	344	Shariffard et al. (2016)
Quitosana magnetica com ácido poliacrilico	Pb <sup>+2</sup>	6	308.2	Pseudo segunda ordem	Langmuir	204.89	Hu et al. (2020)
Quitosana com hidróxido duplo de Mg-Al	Pb <sup>+2</sup> Cd <sup>+2</sup>	3-6 4-8	_____	Pseudo segunda ordem	Langmuir	333.3 140.8	Lyu et al. (2019)
Quitosana com ácido acrílico e nanosilica	Pb <sup>+2</sup>	5.5	298	Pseudo segunda ordem	Langmuir	799	Pourjavadi et al (2015)
Quitosana com ácido oleico e sílica nanoporosa	Pb <sup>+2</sup>	9	328	Pseudo segunda ordem	Langmuir	168	Zarei, Marjani e Soltani (2019)
Quitosana com grafeno e ferrita de níquel	Pb <sup>+2</sup>	8.5	_____	_____	_____	957.28	Nasiri et al. (2019)
Quitosana com nanotubos	Cd <sup>+2</sup>	10	313	_____	_____	99%*	Salam et al. (2011)
Quitosana com nanopartículas de prata/Cobre e nanotubos	Cd <sup>+2</sup> Pb <sup>+2</sup>	_____	298 298	Pseudo segunda ordem	Langmuir	100%* 100%*	Alsabagh et al. (2015)
Quitosana magnetica com EDTA e TiO <sub>2</sub>	Cd <sup>+2</sup>	5-6	_____	Pseudo segunda ordem	Langmuir	209.205	Alizadeh, Delnavaz e Shakeri (2018)
Quitosana magnetica com base de Schiff	Pb <sup>+2</sup>	5	303	_____	Langmuir	134.10	Shahraki, Delarami e Khosravi (2019)
Aerogel de quitosana/polipirrol	Cr <sup>+6</sup>	2	_____	Pseudo segunda ordem	Langmuir	401	Ji et al. (2018)
Quitosana com óxido de grafeno	Cr <sup>+6</sup>	3	303	_____	_____	104.16	Samuel et al. (2019)



I SIMAE



PROBAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS NATURAIS

Quitosana com ferrita magnética	Cr <sup>+6</sup>	2	_____	Pseudo segunda ordem	Langmuir	270.27	Tran <i>et al.</i> (2019)
Quitosana reticulada com gtlaraldeído/óxido de grafeno/ácido orgânico	Cr <sup>+6</sup>	3,5	333	Pseudo segunda ordem	Langmuir	166.98	Ali (2018)
Quitosana com nanopartículas magnéticas	As <sup>+3</sup> As <sup>+5</sup>	6,8	_____	Pseudo primeira ordem	Langmuir	60.2 65.5	Liu <i>et al.</i> (2015)
Quitosana com óxido de grafeno e nanopartículas magnéticas	Cu <sup>+2</sup>	5	_____	Pseudo segunda ordem	Langmuir	426.8	Liu <i>et al.</i> (2018)

\*Os resultados foram expressos em porcentagem de adsorção.

Estudos de adsorção de  $As^{+5}$  e  $As^{+3}$  utilizando como adsorvente o nanocompósito a base de nanopartículas magnéticas foram realizados por Liu *et al.* (2015), que obtiveram capacidades máximas de adsorção de  $65.5 \text{ mg.g}^{-1}$  para o  $As^{+5}$  e  $60.2 \text{ mg.g}^{-1}$  para o  $As^{+3}$ , cuja cinético foi descrita pelo modelo de pseudo primeira ordem e a isoterma que melhor se adequou foi a de Langmuir, com os testes realizados em pH de 6.8, pois nesta condição os grupos amino da quitosana protonados favorecem interações eletrostáticas com os íons que estão presentes sob a forma de ânions no sistema.

Liu *et al.* (2016) estudaram a adsorção de  $Cu^{+2}$  frente ao nanocompósito de quitosana com óxido de grafeno e nanopartículas magnéticas obtendo uma capacidade máxima de adsorção de  $426.8 \text{ mg.g}^{-1}$  e pH 5, sendo o processo descrito pelo modelo cinético de pseudo segunda ordem e pela isoterma de Langmuir. A eficiência se dá pela presença de diversos grupos funcionais presentes além da elevada área superficial e porosidade do material, devido em grande parte a presença do óxido de grafeno e também das nanopartículas magnéticas.

O compósito sintetizado por Ji *et al.* (2018), apresentou uma maior eficiência comparando-se outros metais. Isso se deve ao fato da grande área superficial e caráter poroso do material e da inserção de novos grupos funcionais do polipirrol com alta capacidade de interação dos íons metálicos.

### 3 EFICIÊNCIA COMPARATIVA DOS NANOCOMPÓSITOS

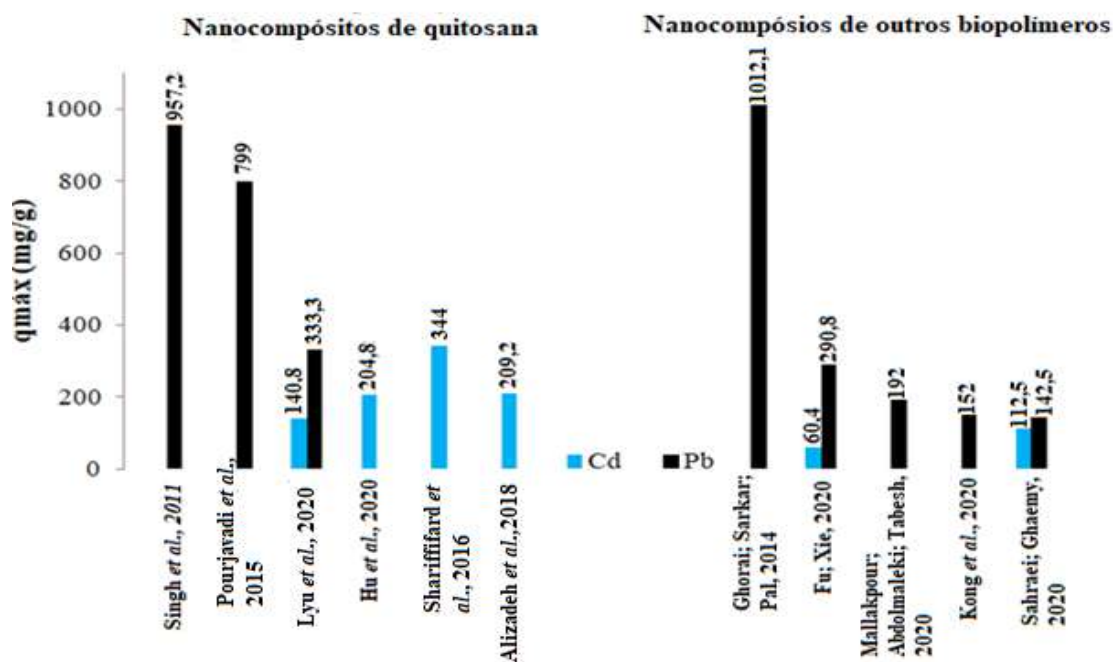
É notória a eficiência dos nanocompósitos a base de quitosana na adsorção de diversos poluentes, porém é de suma importância uma análise comparativa da eficiência de nanocompósitos de diferentes matrizes de fontes naturais aplicados na adsorção dos poluentes. A Figura 2 a seguir compila os melhores resultados de adsorção de  $Pb^{+2}$  e  $Cd^{+2}$  pelos nanocompósitos de quitosana e de nanocompósitos de dos outros biopolímeros com o intuito de comparar a eficiência.



Pode-se perceber que os nanocompósitos a base de quitosana são, no geral, mais eficientes na adsorção de metais do que os derivados de outros polissacarídeos. Os derivados de quitosana podem apresentar maior eficiência devido à presença dos grupos amino, que são os grandes responsáveis pela capacidade de adsorção da quitosana, já que os grupos hidroxila, apesar de estarem em maior quantidade, até mesmo nos outros polissacarídeos, são nucleófilos mais fracos (BORSAGLI *et al.*, 2015). O trabalho de Ghorai, Sarkar e Pal (2014), foi o destaque de nanocompósitos de outros polissacarídeos. Seu material derivado de goma xantana possuía poliácridamida hidrolisada, que interage fortemente com diversos íons metálicos, com uma rede estrutural que favorecia a interação com os metais pelos diversos grupos funcionais amido, e devido a elevada área superficial proveniente da nanossilica.

É notória a eficiência dos nanocompósitos para adsorção de metais, além das vantagens de biodegradabilidade e baixo custo de obtenção dos materiais quando comparados com outros processos e materiais. Como vantagens pode-se destacar: (1) baixo custo de produção devido ao fato dos polissacarídeos serem obtidos de fontes naturais abundantes; (2) elevadas taxas de adsorção mesmo com baixas dosagens e em diferentes condições; (3) possibilidade de aplicação sob diferentes formas; (4) fácil remoção do meio e dessorção para posterior reutilização. Como principais desvantagens pode-se citar a necessidade de várias etapas para a síntese bem como certo gasto para a funcionalização dos nanocompósitos.

Figura 2 - Análise comparativa da eficiência de adsorção de  $Pb^{+2}$  e  $Cd^{+2}$



#### 4 CONCLUSÕES

A finalidade desta revisão foi de compilar resultados que demonstrem a eficiência de nanocompósitos de quitosana para a remoção de metais via adsorção. A utilização dos nanocompósitos é uma ótima alternativa visto que os mesmos apresentam diversas vantagens em relação aos materiais de fontes de partida, além da aplicação em diferentes faixas de pH e possibilidade de reutilização em outros processos. Foi possível verificar com base na Tabela 1 que a cinética dos processos é melhor descrita pelo modelo de pseudo segunda ordem, e o equilíbrio pela isoterma de Langmuir. Também foi possível concluir que o conjunto das propriedades dos materiais utilizados influencia na melhoria da capacidade de adsorção de forma significativa quando comparada com a quitosana pura, sendo os nanocompósitos que possuíam materiais porosos e de elevada área superficial os que mais se destacaram. Observou-se também certa tendência de os

nanocompósitos de quitosana serem mais eficientes na remoção de metais, em comparação com nanocompósitos de outros biopolímeros, porém há a necessidade de estudos para melhor avaliar esse comportamento. Sendo assim os nanocompósitos são materiais promissores para a remoção de metais via adsorção.

## 5 REFERÊNCIAS

Ali, M. E. A. Synthesis and adsorption properties of chitosan-CDTA-GO nanocomposite for removal of hexavalent chromium from aqueous solutions. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 11, n. 7, p. 1107-1116, 2018.

ALIZADEH, B.; DELNAVAZ, M.; SHAKERI, A. Removal of Cd(II) and phenol using novel cross-linked magnetic EDTA/chitosan/TiO<sub>2</sub> nanocomposite. **Carbohydrate Polymers**, v. 181, p. 675-683, 2018.

ALSABAGH, A. M.; FATHY, M.; MORSI, R. E. Preparation and characterization of chitosan/silver nanoparticle/copper nanoparticle/carbon nanotube multifunctional nanocomposite for water treatment: heavy metals removal; kinetics, isotherms and competitive studies. **RSC Advances**, v. 5, n. 9, p. 55774-55783, 2015.

FU, B.; XIE, F. Facile in situ synthesis of cellulose microcrystalline-manganese dioxide nanocomposite for effective removal of Pb(II) and Cd(II) from water. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 5, p. 5108-5121, 2020.

GHORAI, S.; SARKAR, A. K.; PAL, S. Rapid adsorptive removal of toxic Pb<sup>2+</sup> ion from aqueous solution using recyclable, biodegradable nanocomposite derived from templated partially hydrolyzed xanthan gum and nanosilica. **Bioresource Technology**, v. 170, p.578-582, 2014.

HU, D.; LIAN, Z.; XIAN, H.; JIANG, R.; WANG, N.; WENG, Y.; PENG, X.; WANG, S.; OUYANG, X. K. Adsorption of Pb(II) from aqueous solution by polyacrylic acid grafted magnetic chitosan nanocomposite. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 154, p. 1537-1547, 2020.

JI, J.; XIONG, H.; ZHU, Z.; LI, L.; HUANG, Y.; YU, X. Fabrication of Polypyrrole/Chitosan Nanocomposite Aerogel Monolith for Removal of Cr(VI). **Journal of Polymers and the Environment**, v. 26, n. 5, p. 1979-1985, 2018.

KONG, Q.; PREIS, S.; LI, L.; LUO, P.; HU, Y.; WEI, C. Graphene oxide-terminated hyperbranched amino polymer-carboxymethyl cellulose ternary nanocomposite for efficient removal of heavy metals from aqueous solutions. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 149, p. 581-592, 2020.

LIAO, B.; SUN, W. Y.; GUO, N.; DING, S. L.; SU, S. Equilibriums and kinetics studies for adsorption of Ni(II) ion on chitosan and its triethylenetetramine derivative. **Colloids Surfaces A :Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 501, p. 32-41, 2016.

LIMA JÚNIOR, R. N.; ABREU, F. O. M. S. Produtos naturais utilizados como coagulantes e floculantes para tratamento de águas: uma revisão sobre benefícios e potencialidades. **Revista Virtual de Química**, v. 10, n. 3, p. 709-735, 2018.

LIU, C.; WANG, B.; DENG, Y.; CUI, B.; WANG, J.; CHEN, W.; HE, S. Y. Performance of a new magnetic chitosan nanoparticle to remove arsenic and its separation from water. **Journal of Nanomaterials**, v. 2015, p. 1-9, 2015.

LYU, F.; YU, H.; HOU, T.; YAN, L.; ZHANG, X.; DU, B. Efficient and fast removal of Pb<sup>2+</sup> and Cd<sup>2+</sup> from an aqueous solution using a chitosan/Mg-Al-layered double hydroxide nanocomposite. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 539, p. 184-193, 2019.

LIU, J.; LIU, W.; WANG, Y.; XU, M.; WANG, B. A novel reusable nanocomposite adsorbent, xanthated Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>-chitosan grafted onto graphene oxide, for removing Cu(II) from aqueous solutions. **Applied Surface Science**, v. 367, p. 327-334, 2018.

MALLAKPOUR, S.; ABDOLMALEKI, A.; TABESH, F. Ultrasonic-assisted manufacturing of new hydrogel nanocomposite biosorbent containing calcium carbonate nanoparticles and tragacanth gum for removal of heavy metal. **Ultrasonic Sonochemistry**, v. 41, p. 572-581, 2018.

MEDEIROS BORSAGLI, F. G. L.; MANSUR, A. A. P.; CHAGAS, P.; OLIVEIRA, L. C. A.; MANSUR, H. S. O-carboxymethyl functionalization of chitosan: Complexation and adsorption of Cd (II) and Cr (VI) as heavy metal pollutant ions. **Reactive and Functional Polymers**, v. 97, p. 37-47, 2015.

NASIRI, R.; ARSALANI, N.; PANAHIAN, Y. One-pot synthesis of novel magnetic three-dimensional graphene/chitosan/nickel ferrite nanocomposite for lead ions removal from aqueous solution: RSM modelling design. **Journal of Cleaner Production**, v. 201, p. 507-515, 2018.

NGAH, W. S. W.; FATINATHAN, S. Adsorption characterization of Pb(II) and Cu(II) ions onto chitosan-tripolyphosphate beads: Kinetic, equilibrium and thermodynamic studies. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 4, p. 958-969, 2010.

POURJAVADI, A.; TEHRANI, Z. M.; SALIMI, H.; BANAZADEH, A.; ABEDINI, N. Hydrogel nanocomposite based on chitosan-g-acrylic acid and modified nanosilica with high adsorption for heavy metal ion removal. **Iranian Polymer Journal**, v. 24, n. 9, p. 725-734, 2015.

REDDY, D. H. K.; LEE, S. M. Application of magnetic chitosan composites for the removal of toxic metal and dyes from aqueous solutions. **Advances in Colloid and Interface Science**, v. 201, p. 68-93, 2013.

SAHRAEI, R.; GHAEMY, M. Synthesis of modified gum tragacanth/graphene oxide composite hydrogel for heavy metal ions removal and preparation of silver nanocomposite for antibacterial activity. **Carbohydrate Polymers**, v.157, p. 823-833, 2017.

SALAM, M. A.; MAKKI, M. S. I.; ABDELAAL, M. Y. A. Preparation and characterization of multi-walled carbon nanotubes/chitosan nanocomposite and its application for the removal of heavy metals from aqueous solution. **Journal of Alloys and Compounds**, v. 509, n. 5, p. 2582-2587, 2011.

SAMUEL, M. S.; BHATTACHARYA, J.; RAJ, S.; SANTHANAM, N.; SINGH, H.; SINGH, N. D. P. Efficient removal of Chromium(VI) from aqueous solution using chitosan grafted graphene oxide (CS-GO) nanocomposite. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 121, p. 285-292, 2019.

SHAHRAKI, S.; DELARAMI, H. S.; KHOSRAVI, F. Synthesis and characterization of an adsorptive Schiff base-chitosan nanocomposite for removal of Pb(II) ion from aqueous media, **International Journal of Biological Macromolecules**, v, 139, p. 577-586, 2019.

SHARIFIFARD, H.; SHAHRAKI, Z. H.; REZVANPANA, E.; RAD, S. H. A novel natural chitosan/activated carbon/iron bio-nanocomposite: Sonochemical synthesis, characterization, and application for cadmium removal in batch and continuous adsorption process. **Bioresource Technology**, v. 270, p. 562-569, 2018.

SUMAN; KARDAM, A.; GERA, M.; JAIN, V. K. A novel reusable nanocomposite for complete removal of dyes, heavy metals and microbial load from water based on nanocellulose and silver nano-embedded pebbles. **Environmental Technology (United Kingdom)**, v. 36, n. 6, p. 706-714, 2015.

TRAN, H. V.; TRAN, T. L.; LE, T. D.; LE, T. D.; NGUYEN, H. M. T.; DANG, L. T. Graphene oxide enhanced adsorption capacity of chitosan/magnetite nanocomposite for Cr(VI) removal from aqueous solution. **Materials Research Express**, v. 6, n. 2, p. 1-28, 2019.

YANG, R.; LI, H.; HUANG, M.; YANG, H.; LI, A. A review on chitosan-based flocculants and their applications in water treatment. **Water Research**, v. 95, p. 59-89, 2016.

ZAREI, F.; MARJANI, A.; SOLTANI, R. Novel and green nanocomposite-based adsorbents from functionalised mesoporous KCC-1 and chitosan-oleic acid for adsorption of Pb(II). **European Polymer Journal**, v. 119, p. 400-419, 2019.

## OBTENÇÃO DE CARVÃO ATIVADO A PARTIR DA CANA DE AÇÚCAR: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Jordana L. Braga <sup>\*1</sup>, Bruno do N. de Almeida<sup>2</sup>, Solange de O. Pinheiro<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, \*e-mail: jordana.braga@aluno.uece.br.

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Estadual de Campinas.

**RESUMO:** A obtenção de carvão ativado (CA) por meio de resíduos industriais é uma alternativa de grande relevância que vem sendo muito estudada. Assim, o trabalho realizará um levantamento bibliográfico, com objetivo de produzir um acompanhamento dos últimos trabalhos relacionados ao reaproveitamento do bagaço da cana-de-açúcar, na utilização como combustível e nas indústrias de refino dos insumos da cana-de-açúcar. A matéria-prima também pode ser empregada na produção de carvão ativado, que atua como uma peneira por possuir microporos, podendo ser aplicado na remoção de resíduos particulados que contaminam a água. A utilização deste material que seria descartado, torna-se mais acessível no emprego do carvão ativado como filtro para a remoção desses agentes. A gestão desses resíduos em seu uso traz benefícios, transformando-se, antes analisados em fim de seus ciclos de vida, em matérias primas com diversas e excelentes aplicações.

**Palavras-chave:** Meio Ambiente. Cana-de-açúcar. Carvão Ativado.

**ABSTRACT:** Obtaining activated carbon (CA) through industrial waste is a highly relevant alternative that has been widely studied. Thus, the work will carry out a bibliographic survey, with the objective of producing a follow-up of the latest works related to the reuse of sugarcane bagasse, in the use as fuel and in the refining industries of sugarcane inputs. The raw material can also be used in the production of activated carbon, which acts as a

sieve for having micropores, and can be applied to remove particulate residues that contaminate the water. The use of this material that would be discarded, becomes more accessible in the use of activated carbon as a filter for the removal of these agents. The management of these residues in their use brings benefits, transforming, previously analyzed at the end of their life cycles, into raw materials with diverse and excellent applications.

**Keywords:** Environment. Sugar cane. Activated charcoal.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente a qualidade de vida, como se adaptar e sobreviver no mundo que está em constante mudança está em alta. Sugestões sobre possibilidades soluções tecnológicas inovadoras como resposta, necessidade crescente de encontrar soluções para as consequências da ação humana, que vem explorando a natureza de forma abusiva, sem a mínima preocupação com o esgotamento dos recursos. Diante disso, se faz um questionamento: o que restará para gerações futuras? Para reduzir o impacto dessa situação, a reutilização surge como alternativa para minimização do acúmulo progressivo do lixo, inserindo alternativas para a produção de novos materiais. No âmbito social, ações de reutilização podem proporcionar melhorias nas condições da interação do homem com o meio ambiente, podendo gerar melhores condições de trabalho e renda (GALVÃO, 2019).

A reutilização apresenta como vantagens: uma queda na utilização de fontes naturais não renováveis, redução da quantidade de resíduos que necessitam de tratamento final, como os destinados a aterros sanitários e os que são incinerados, prologando a vida útil dos aterramentos, contribuindo para a formação e valorização de uma consciência ecológica, da limpeza pública e a geração de empregos (DONATO; BARBOSA; BARBOSA, 2015). O bagaço de cana-de-açúcar é uma biomassa fibrosa e obtido como subproduto das usinas sucroalcooleiras. Este tem despertado grande

interesse para a produção de carvão ativado (CA), por apresentar-se como uma matéria-prima atrativa economicamente e de alta disponibilidade devido a abundância. O processo de adsorção em CAs é uma alternativa para remoção de compostos polifenólicos (FERNANDES-MACHADO; GIMENES; SEIXAS, 2016).

O Brasil é considerado um dos maiores produtores de cana-de-açúcar no mundo e estimula estudos para destinos sustentáveis do bagaço produzido pela indústria do ramo sucroalcooleira, que tem como objetivo a produção de carvão ativado para utilizar na descontaminação da água e do ar. O carvão ativado é 20% mais barato, e apresenta a mesma eficiência quando comparado a produtos importados que já existem no mercado, mostrando-se uma alternativa viável economicamente (REDAÇÃO CICLO VIVO, 2017).

Dentre estas tem-se o tratamento de águas residuais que resultam do processo industrial, normalmente consistem em uma série de contaminantes, que inclui ácidos, bases, sólidos dissolvidos, compostos tóxicos e corantes orgânicos. Pesquisas têm sido realizadas com a finalidade de desenvolver tecnologias e técnicas eficazes para o tratamento de águas residuais que contém corantes, como eletrocoagulação, filtração por membrana, destruição eletroquímica, troca iônica, irradiação, oxidação avançada, ozonização, precipitação e adsorção envolvendo o uso de carvão ativado. Sendo o carvão ativado considerado o adsorvente mais popular, sendo usado com grande sucesso (PRACHPREECHA; PIPATPANYANUGOON; SAWANGWONG, 2016).

### 1.1 Carvão ativado

O carvão ativado (CA) é aplicado como adsorvente por seus microporos, podendo ser obtido de uma variedade de materiais ricos em carbono como: madeira, hulha, lignina, casca de coco, açúcares. Seu potencial de adsorvente é oriundo da área superficial maximizada e da presença de grupos funcionais em sua estrutura molecular. O CA é constituído por uma base gráfica em que os vértices e as bordas podem



acomodar uma série de elementos, como oxigênio, nitrogênio e hidrogênio, que se apresentam como grupos funcionais (GUILARDUCI, 2006).

A produção de CA segue duas etapas: a carbonização do precursor e a ativação do material carbonizado. A etapa de carbonização consiste no tratamento térmico (pirólise) do precursor sob atmosfera inerte à temperatura superior a 200 °C. A ativação consiste na retirada de componentes residuais provenientes da incineração dos compostos orgânicos contidos no vegetal que sofrem pirolise gerando substâncias como: alcatrão, creosoto e naftas. Além resíduos orgânicos que possam obstruir os poros. Os carvões podem ser ativados por processos físicos, químicos ou combinação dos dois métodos (RAMOS *et al.*, 2009).

### **1.2 Obtenção do carvão ativado a partir de bagaço de cana-de-açúcar**

Segundo a metodologia descrita por Abreu (2013), o bagaço de cana-de-açúcar é bastante aplicado para a produção do carvão ativado. A coleta do material é realizada logo após a etapa de moagem da cana afim de evitar que ocorra a degradação microbiológica das amostras de bagaço. A realização da caracterização é realizada através de ensaios de umidade, sujeitando as cinzas insolúveis em ácido clorídrico, como consta na metodologia das Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1985). Para o ensaio de umidade utiliza-se amostra do bagaço de cana-de-açúcar em cadinho de porcelana previamente tarado, a amostra é submetida a aquecimento em estufa para desidratá-la e garantir peso constante, sendo resfriada para a temperatura ambiente para aferição da massa.

Para a obtenção das cinzas, parte da amostra é incinerada após determinação da umidade. O cadinho é submetido a incineração em mufla, previamente aquecida, para obtenção de uma cinza branca ou ligeiramente acinzentada. Após resfriamento o cadinho é pesado. O experimento segue a partir da amostra submetida à incineração, para a determinação das cinzas insolúveis em ácido clorídrico ao ser adicionado às cinzas, a solução obtida passa por filtração. O papel de filtro onde o resíduo está contido é

transferido para o mesmo cadinho da incineração. O cadinho é submetido a secagem em estufa, o papel é carbonizado com cuidado e o cadinho submetido à uma nova incineração em mufla com posterior resfriamento e aferição de massa. O bagaço de cana foi submetido à secagem em estufa com circulação de ar, sendo peneirado, e utilizada a fração retida entre as peneiras. Uma parte do bagaço é calcinados em mufla. O material calcinado é submetido a uma ativação química com cloreto de zinco (ABREU, 2013).

Ainda segundo Abreu (2013), as amostras carbonizadas foram impregnadas com uma solução de  $ZnCl_2$ . A mistura do carvão e a solução de cloreto de zinco permanecem em repouso, sendo as amostras, posteriormente secas em estufa. Então, a mistura é submetida à ativação em um reator de aço inox, em seguida sendo lavado. Inicialmente o carvão ativado é imerso em água destilada sob agitado. A suspensão é filtrada em papel quantitativo, de filtração média, novamente lavado com água destilada. Nesta etapa de lavagem os subprodutos da ativação (carbonatos, silicatos, etc.), que são solúveis em água, são retirados da matriz carbonácea, deixando os poros livres e mais expostos, que são a característica essenciais do CA. Após este procedimento, o carvão ativado é seco em estufa.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração desse artigo de revisão foi realizado um levantamento bibliográfico através de buscas em bases de dados nacionais e internacionais na área de Química. As palavras-chave utilizadas para a busca nas bases de dados brasileiras foram: cana-de-açúcar e carvão ativado. Neste caso, essas palavras poderiam estar em qualquer campo do registro como: título, resumo e palavras-chaves. Já na base internacional foram utilizadas as palavras: *sugar cane* and *activated charcoal*.

Os registros encontrados foram analisados e classificados de acordo com as categorias estabelecidas pelos pesquisadores. Foram elas:

1. Periódico de publicação e ano de publicação: título do periódico no qual o artigo fora publicado, e o ano de publicação para não exceder um período de 15 anos de publicação.

2. Área da Química: a partir da qual se investigou a obtenção do carvão ativado a partir da cana-de-açúcar.
3. Natureza da pesquisa: teórica ou empírica. A primeira envolve revisões de literatura e discussões e a última pesquisas que utilizam algum método de coleta de dados específico.
4. Método: diferentes tipos de métodos utilizados nos trabalhos empíricos, tais como: observação direta, experimento, observação indireta.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No trabalho realizado por Jaguaribe *et al* (2002), executou experimentos na produção de carvão ativado a partir do bagaço da cana com a utilização de vapor de água para efetivar a ativação do carvão dessa biomassa. A variação do tempo de ativação demonstra ter pouca influência no pH. Contudo, houve uma considerável redução no rendimento da massa do produto final quando ela submetido a tratamentos prolongados, após 80 min de tratamento verifica-se a tendência dos microporos se tornarem mesoporos e assim uma progressiva perda da eficiência na capacidade de adsorção.

Gonçalves *et al* (2006), trabalhou com amostra de bagaço e melaço da cana aplicados a produção de carvão ativado (CA), do qual demonstrou ter baixo custo e bons rendimentos. A partir dos resultados presente em seu trabalho pode-se verificar que o bagaço e melaço de cana-de-açúcar apresentam-se como matérias-primas com potencial para a produção de carvão ativado granular, tendo 23% de rendimento médio de produção em relação aos testes contendo apenas as amostras iniciais. Os carvões preparados com pequenas quantidades de melaço apresentam maiores áreas superficiais específicas com a predominância de micro e mesoporos. O CA preparado com relação mássica bagaço:melaço apresentou-se tão eficiente quanto o CA comercial.

Segundo Abreu *et al* (2015), que executou experimentos de adsorção de íons de cádmio e cobre para avaliar o emprego do CA de bagaço de cana frente as fontes usuais de CA comercializada, demonstrou que o carvão de bagaço de cana-de-açúcar e

ativado com cloreto de zinco constitui um potencial adsorvente para o tratamento de efluentes contendo íons cádmio e cobre. A caracterização do carvão ativado de bagaço de cana demonstrou que seu material de propriedade ácida é apto à adsorção de íons metálicos. Através de testes cinéticos, a comparação do carvão ativado produzido a partir de bagaço apresenta diferença do carvão ativado comercial granular, mostrando-se que suas capacidades de adsorção no equilíbrio são similares, entretanto, a quantidade adsorvida pelo carvão ativado de bagaço no equilíbrio é superior à adsorvida pelo comercial. Sendo assim, demonstra-se que o bagaço de cana de açúcar, material residual disponível em grande quantidade no Brasil, pode ser usado no tratamento de efluentes contaminados com metais pesados.

Ramírez *et al* (2016) realizaram estudos sobre o emprego das fibras da palmeira de óleo, em que foi analisado a produção do CA a partir da biomassa residual gerado na produção de óleo de palma, O carvão ativados produzidos por ativação química com  $ZnCl_2$  a partir de resíduos de óleo de palma, fibra (mesocarpo) e casca (endocarpo), exibem áreas de superfície ideal para atuar como adsorventes e aplicado para adsorver o azul de metila (AM), os estudos cinéticos e de equilíbrio para adsorção de AM foram realizados em diferentes concentrações iniciais e os dados experimentais foram ajustados aos modelos matemáticos o estudo concluir que os resíduos de fibra de palma e casca são potenciais precursores na produção de carvão ativado para a adsorção de poluentes orgânicos como AM.

Segundo Rimoli *et al* (2019) através da abordagem físico-química observaram-se que a temperatura e atmosfera para se promover a ativação do carvão tiveram efeitos significativos nas características analisadas, entretanto, não apresentaram interação entre si. As amostras demonstraram um perfil microporoso em ambas as atmosferas, o que indicou sua alta capacidade de adsorver moléculas orgânicas de pequenas dimensões. A distribuição dos poros não foi afetada pela atmosfera de ativação e os resultados para a área superficial específica confirmaram a qualidade da produção do carvão ativado. Considerando os resultados, a ativação por vapor gerou um carvão ativado de boa qualidade.

#### 4 CONCLUSÕES

Com o levantamento bibliográfico realizado neste trabalho é importante ressaltar o desenvolvimento de novas alternativas para o uso do bagaço da cana-de-açúcar, onde o mesmo se apresenta como uma matéria-prima de grande potencial e com boas propriedades de adsorção, tendo como exemplo, a produção do carvão ativado, com forte utilização como material filtrante (COELHO *et al*, 2020). Deste modo, o CA produzido através da cana-de-açúcar possui uma vasta relevância, por ser uma fonte limpa e um material eficaz frente à remoção de poluentes da água, uma problemática muito comum nas comunidades, povos ribeirinhos e bairros periféricos no Brasil, ademais, é importante realizar um estudo da região onde ocorrerá aplicação do CA, entendendo a situação da região e a eficiência que o mesmo proporcionará.

Segundo Gonçalves *et al.* (2006), as características do CA de bagaço da cana-de-açúcar apresentam baixo custo de produção, pelo fato da matéria-prima utilizada na pesquisa ser um subproduto abundante em território nacional nas indústrias de produção sucroalcooleiras, e 100% nacional, contribuindo principalmente para desenvolvimento sustentável do meio ambiente. O levantamento realizado em torno das utilizações do carvão ativado mostrou-se promissor visto sua vasta utilização dentro dos parâmetros da química ambiental.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Às Instituições Universidade Estadual do Ceará, aos órgãos de fomento CNPq, CAPES e FUNCAP. Ao laboratório de Química Inorgânica (LQUIN) e a Profa. Dra. Solange de Oliveira Pinheiro pela oportunidade e apoio na elaboração deste trabalho.

#### 6 REFERÊNCIAS

ABREU, Marcela Breves. **Preparação de carvão ativado de bagaço de cana-de-açúcar**

**e sua aplicação na adsorção de Cd(II) e Cu(II)**. 2013. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Tecnologia em Processos Químicos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2013.

ABREU, M. B.; ANDRADE, J. R.; TURBIANI, F. R. B.; GIMENES, M. L.; FERNANDES-MACHADO, N. R.C.; SEIXAS, F. L. Aplicação de carvão ativado do bagaço de cana-de-açúcar na adsorção de Cd(II) e Cu(II). *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULARES*, 37., 2015, São Paulo, SP. **Anais [...]** São Paulo: Universidade Federal de São Carlos, 2015.

COELHO, K. V. de S.; SANTANA, J. C. L; BASTOS, D. C.; LÍBANO, E. V. D. G.; PEREIRA, P. S. C. Compósitos pead/bagaço de cana-de-açúcar: influência do processamento e fonte de pead. **Revista Univap**, v. 26, n. 51, p. 130-144, 2020.

DONATO, L. A.; BARBOSA, M. F. N.; BARBOSA, E. M. Reciclagem: o caminho para o desenvolvimento sustentável. **Revista Polêmica**, v. 15, n. 2, p. 23-34, 2015.

GALVÃO, L. C. M. S. A visão de alunos da rede municipal de lagarto-se sobre o tema reciclagem na escola. *In: COLÓQUIO INTERNACIONAL "EDUCAÇÃO E CONTEMPORANEIDADE"*, 9., 2015, São Cristóvão. **Anais [...]** São Cristóvão: EDUCON, 2015.

GONÇALVES, G. C.; MENDES, E. S.; PEREIRA, N. C.; SOUSA, J. C. Produção de carvão ativado a partir de bagaço e melaço de cana-de-açúcar. **Acta Scientiarum, Technology**, v. 28, n. 1, p. 21-27, 2016.

GUILARDUCI, V. V. da S.; DE MESQUITA, J. P.; MARTELLI, P. B.; GORGULHO, H. de F. Adsorção de fenol sobre carvão ativado em meio alcalino. **Química nova**, v. 29, n. 6, p. 1226-1232, 2006.

JAGUARIBE, E.; SANTOS, I. M. G.; ALBURQUERQUE, F. R. Carvão ativado obtido do bagaço de cana-de-açúcar por ativação com vapor d'água. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS DOS MATERIAIS*, 15. 2002, Natal, RN. **Anais [...]** Natal: FAPESP, 2002.

KAWAHIGASHI, F.; MENDES, M. B.; ASSUNÇÃO JÚNIOR, V. G. da; GOMES, V. H.; FERNANDES, F.; HIROOKA, E. Y.; KURODA, E. K. Pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário com carvão ativado. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 19, n. 3, p. 235-244, 2014.

OLIVEIRA, T. S.; ROCHA JÚNIOR, V. R.; REIS, S. T.; AGUIAR, E. F.; SOUZA, A. S.; SILVA, G. W. V.; DUTRA, E. S.; SILVA, C. J.; ABREU, C. L.; BONALTI, F. K. Q. Composição química do bagaço de cana-de-açúcar amonizado com diferentes doses de uréia e soja grão. **Archivos de Zootecnia**, v. 60, n. 231, p. 625-635, 2011.

PRACHPREECHA, O.; PIPATPANYANUGOON, K.; SAWANGWONG, P. A study of charactrizations and efficiency of activated carbon prepared from peel and bunch of

banana for methyl orange dye adsorption. **Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology**, v. 10, n. 2, p. 17-26, 2016.

RAMÍREZ, A. P.; GIRALDO, S.; FLÓREZ, E.; ACELAS, N. Preparacion de carbón activado a partir de residuos de palma de aceite y su aplicación para la remoción de colorantes. **Revista Colombiana de Química**, v. 46, n. 1, p. 33-41, 2017.

RAMOS, P. H.; GUERREIRO, M. C.; DE RESENDE, E. C.; GONÇALVES, M. Produção e caracterização de carvão ativado produzido a partir do defeito preto, verde, ardido (PVA) do café. **Química nova**, v. 32, n. 5, p. 1139-1143, 2009.

REDAÇÃO CICLO VIVO. **Pesquisadores brasileiros usam o bagaço da cana para descontaminação ambiental**. Página modificada em 20 jan. 2017. Disponível em: <https://ciclovivo.com.br/planeta/desenvolvimento/pesquisadores-brasileiros-usam-o-bagaco-da-cana-para-descontaminacao-ambiental/>. Acesso em: 23 out. 2020.

RIMOLI, M. F. S.; NOGUEIRA, R. M.; FERRARINI, S. R.; CASTRO, P. M.; PIRES, E. M. Preparation and characterization of carbon from the fruit of Brazil nut tree activated by physical process. **Revista Árvore**. v. 43, n. 2, p. 1-10, 2019.

SEIXAS, F. L.; GIMENES, M. L.; FERNANDES-MACHADO, N. R. C. Treatment of vinasse by adsorption on carbono from sugar cane bagasse. **Química Nova**, v. 39, n. 2, p. 172-179, 2016.

SOARES, Luma Claudio da Silva Rodrigues. **Destoxificação biológica do hidrolisado hemicelulósico de bagaço de cana-de-açúcar para utilização em processos fermentativos**. 2012. 114 f. Dissertação (Mestre em Ciências) - Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, Lorena, 2012.

**OBTENÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL DO CRAVO DA ÍNDIA (*SYZYGIUM AROMATICUM*) E AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA NÃO CLÍNICA UTILIZANDO ZEBRAFISH (*DANIO RERIO*) ADULTO**

**Vitória E. L. Bantim<sup>\*1</sup>, Pedro H. R. Lopes<sup>1</sup>, Tigressa H. S. Rodrigues<sup>2</sup>, Maria K. A. Ferreira<sup>1,3</sup>, Jane E. S. A. de Menezes<sup>1,3</sup>, Hércio S. dos Santos<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Laboratório de Química de Produtos Naturais, Universidade Estadual do Ceará, \*e-mail: vitoria.bantim@aluno.uece.br.

<sup>2</sup>Universidade Estadual Vale do Acaraú, Centro de Ciências Exatas e Tecnologia.

<sup>3</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciência e Tecnologia,

**RESUMO:** Óleos essenciais são substâncias odoríferas encontrados por várias partes das plantas. A atividade locomotora avalia drogas que causam comprometimento locomotor ou não. O objetivo desse trabalho foi obter o óleo essencial do cravo da Índia e realizar a avaliação da segurança não clínica utilizando zebrafish. O OE foi obtido por meio de hidrodestilação. Para o teste de campo aberto, os zebrafish receberam doses de OE (4, 20 e 40 mg/kg); DMSO 3% e DZP 40mg/kg. Após 30 min, os animais foram adicionados em placas de Petri, e analisada a atividade locomotora através da contagem do número de CL (5 min). Para avaliação da toxicidade, os animais receberam os mesmos tratamentos e após 96h de análise, os valores obtidos com o número de ZFa mortos foram submetidos à análise estatística para estimar DL para matar 50%. O OE apresentou composição elevada teor de eugenol e baixos teores de acetato de eugenila e  $\beta$ -cariofileno. Além disso, alterou o sistema locomotor do zebrafish e é considerado seguro, pois não se mostrou tóxico até 96h de análise.

**Palavras-chave:** Óleo essencial, cravo da Índia, segurança não clínica.



**ABSTRACT:** Essential oils are odorous substances, found by various parts of plants. Locomotor activity evaluates drugs that cause locomotor impairment or not. The objective of this work was to obtain the essential oil of cloves and perform a non-clinical safety assessment using zebrafish. The EO was obtained through hydrodistillation. For the open field test, zebrafish received doses of OE (4, 20 and 40 mg / kg); DMSO 3% and DZP 40mg / kg. After 30 min, the animals were added in Petri dishes, and locomotor activity was analyzed by counting the number of CL (5 min). For toxicity assessment, the animals received the same treatments and after 96 h of analysis, the values obtained with the number of ZFa killed were subjected to statistical analysis to estimate DL to kill 50%. The OE had a high eugenol composition and low eugenyl acetate and  $\beta$ -karyophyllene levels. In addition, it changed the zebrafish locomotor system and is considered safe, as it was not toxic until 96 hours of analysis.

**Keywords:** Essential oil, cloves, non-clinical safety.

## 1 INTRODUÇÃO

Óleos essenciais (OE) são substâncias odoríferas, voláteis a temperatura ambiente, e podem ser extraídos através de flores, raízes e frutos. A hidrodestilação é o método mais utilizado na extração de OE (AFFONSO *et al.*, 2012). O cravo da Índia é um botão floral seco do *Syzygium aromaticum*, uma planta de porte arbóreo com copa alongada característica e que pode atingir em média 8-10 metros de altura. Seu nome mais conhecido cientificamente é *Eugenia caryophyllus*. Os principais componentes químicos do OE do cravo da Índia são: acetato de eugenila, cariofileno e eugenol (AFFONSO *et al.*, 2012).

Na maioria das pesquisas científicas, alguns animais são utilizados para estudar melhor as causas das doenças humanas e aplicar teste para terapias inovadoras. O Zebrafish foi utilizado na pesquisa científica por George Streisinger, biólogo, professor da Universidade de Oregon. Ele percebeu que existe uma grande vantagem na utilização

do peixe em estudos científicos, pois os peixes são de pequenos portes, sua manutenção é simples e sua criação é econômica comparada aos roedores (RESENDE; SOCCOL, 2015). Assim, o presente trabalho teve por objetivo obter o OE do cravo da Índia e realizar a avaliação da segurança não clínica utilizando zebrafish (*Danio rerio*) adulto.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Material vegetal

Os botões florais de *S. aromaticum* foram adquiridos no mercado público de Sobral - CE e levado ao Laboratório de Produtos Naturais da Universidade Estadual do Vale do Acaraú para obtenção do óleo essencial do cravo (OECRAVO).

### 2.2 Obtenção do óleo essencial

O OE dos botões florais de *Syzygium aromaticum* foi obtido por hidrodestilação em aparelho do tipo Clevenger durante 2h. Em seguida, o óleo essencial foi coletado, armazenado em frascos de vidro e estocados em freezer.

**Figura 1- Botões florais de *S. aromaticum* (A), OECRAVO (B)**



### 2.3 Avaliação da segurança não clínica

#### 2.3.1 Avaliação da atividade locomotora

Os zebrafish ZFa (n=6/grupo) foram tratados, via intraperitoneal (*i.p.*), com 20  $\mu$ L das soluções do OE nas doses (4, 20 e 40 mg/kg) e veículo (DMSO 3%) e diazepam (DZP; 40mg/kg). Após 30 min dos tratamentos, os animais foram adicionados em placas de Petri, marcadas com quadrantes e analisada a atividade locomotora através da contagem do número de cruzamento de linhas, durante 5 min. Animais sem tratamentos (Naive) foram considerados como 100% e calculado o percentual de atividade locomotora (%AL).

### 2.3.2 Toxicidade aguda 96h

Os animais receberam os mesmos tratamentos descritos em 4.1. Após 96h de análise, o número de ZFa mortos foram submetidos à análise estatística, estimando-se a Dose Letal para matar 50% (DL<sub>50</sub>).

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Análise Química

A composição química do OE dos botões florais de *S. aromaticum* está descrita na Tabela 1. Observa-se que foi possível a identificação de três constituintes totalizando 99,00%.

**Tabela 1- Composição química do OE dos botões florais de *S. aromaticum***

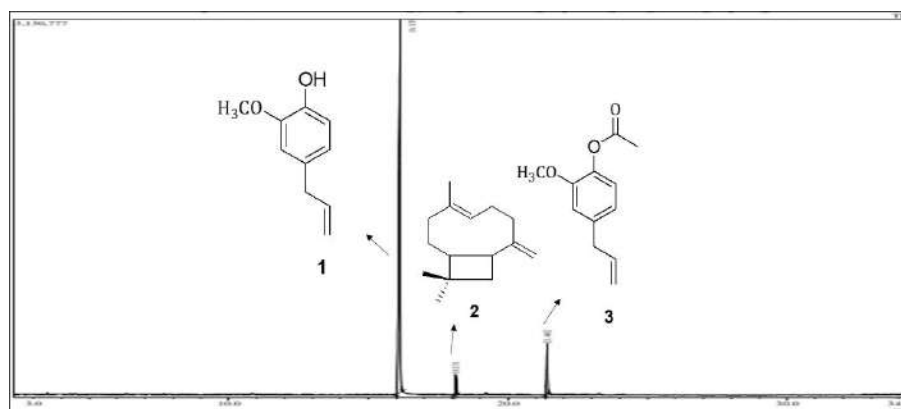
Composto	IK <sub>lit</sub> <sup>2</sup>	Área relativa (%)
Eugenol	1359	83,90
$\beta$ -Cariofileno	1419	3,57
Acetato de Eugenila	1523	11,53

<b>Total</b>	99,00
--------------	-------

<sup>1</sup>IKlit : Índice de Kovats da literatura

A análise do OE dos botões florais de *S. aromaticum* permitiu a identificação do fenilpropanóide eugenol (83,90%), além do sesquiterpeno não oxigenado  $\beta$ -cariofileno (3,57%) e do acetato de eugenila (11,53%) (Figura 2). Este resultado encontra-se de acordo com a literatura onde uma amostra de óleo essencial de *S. aromaticum* coletada na região sul de Ilhéus, apresentou elevado teor de eugenol e baixos teores de acetato de eugenila e  $\beta$ -cariofileno. A ordem dos tempos de retenção (TR) dos constituintes majoritários do *S. aromaticum* é eugenol,  $\beta$ -cariofileno e acetato de eugenila (AFFONSO *et al.*, 2012), confirmada na análise do cromatograma do OE dos botões florais de *S. aromaticum* (Figura 2).

**Figura 2- Cromatograma do OE dos botões florais de *S. aromaticum* eugenol (1),  $\beta$ -cariofileno (2) e acetato de eugenila (3)**

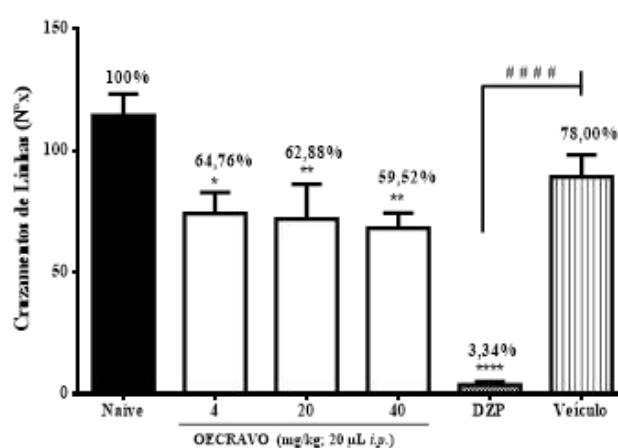


### 3.2 Avaliação da atividade locomotora

Esta atividade pode ser explorada através do Teste de Campo Aberto, em um aquário (ROSEMBERG *et al.*, 2011), bem como placas de Petri (AHMAD; RICHARDSON,

2013). Como resultado, observou-se que (OECRAVO) causou comprometimento motor do zebrafish, onde ocorreu uma redução no número de cruzamento de linha na placa de petri pelos animais, resultado significativamente diferente do grupo naive ( $p < 0,01$ ;  $p < 0,1$  vs. naive) (Figura 3).

**Figura 3 - Efeito do óleo essencial do cravo-da-índia sob a atividade locomotora do zebrafish (*Danio rerio*) adulto**



A diminuição da atividade locomotora em zebrafish adulto causada pelo (OECRAVO) sugere uma possível ação sedativa, tais como os benzodiazepínicos (drogas ansiolíticas), os quais diminuem atividade locomotora (mobilidade) de zebrafish em campo aberto, conforme destacam Gupta *et al.* (2014) e Benneh *et al.* (2017).

### 3.3 Toxicidade 96h

Nossos resultados mostraram que o OECRAVO não foi tóxico frente a ZFa até 96 h de análise ( $DL_{50} > 40$  mg/kg).

#### 4 CONCLUSÃO

Os dados obtidos revelaram que o OECRAVO apresentou em sua composição elevado teor de eugenol e baixos teores de acetato de eugeila e  $\beta$ -cariofileno. Os resultados indicam que o OE altera o sistema locomotor do zebrafish e é considerado seguro, pois não se mostraram tóxicas até 96h de análise.

#### 5 REFERÊNCIAS

AFFONSO, R. S.; RENNÓ, M. N.; SLANA, G. B. C. A.; FRANÇA, T. C. C. Aspectos Químicos e Biológicos do óleo Essencial de Cravo da Índia. **Revista Virtual de Química**, v. 4, n. 2, p. 146-161, 2012.

AHMAD, F.; RICHARDSON, M. K. Exploratory behaviour in the open field test adapted for larval zebrafish: Impact of environmental complexity. **Behavioural Processes**, v. 92, p.88-98, 2013.

BENNEH, C. K.; BINEY, R. P.; MANTE, P. K.; TANDOH, A.; ADONGO, D. W.; WOODE, E. Maerua angolensis stem bark extract reverses anxiety and related behaviours in zebrafish—Involvement of GABAergic and 5-HT systems. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 207, p. 129–145, 2017.

GUPTA, P.; KHOBRAGADE, S. B.; SHINGATGERI, V. M.; RAJARAM, S. M. Assessment of locomotion behavior in adult Zebrafish after acute exposure to different pharmacological reference compounds. **Drug Development and Therapeutics**, v. 5, n. 2, p. 127, 2014.

RESENDE, R. R.; SOCCOL, C. R. **Biotecnologia aplicada à saúde: fundamentos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Bluche, 2015. 622 p.

ROSEMBERG, D. B.; RICO, E. P.; MUSSULINI, B. H. M.; PIATO, Â. L.; CALCAGNOTTO, M. E. ; BONAN, C. D.; DIAS, R. D.; BLASER, R. E.; SOUZA, D. O.; DE OLIVEIRA, D. L. Differences in spatio-temporal behavior of zebrafish in the open tank paradigm after a short-period confinement into dark and bright environments. **PLoS ONE**, v. 6, n. 5, 2011.

## PERSPECTIVAS DA REUTILIZAÇÃO DE EFLUENTE TRATADO

**Edilson H. C. Filho<sup>1</sup>, José M. S. G. Matos<sup>1</sup>, Marilângela da S. Sobrinho<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Programa Doutoral em Alterações Climáticas e Políticas de Desenvolvimento Sustentável, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, \*e-mail: edilsonholanda@gmail.com.

<sup>2</sup>Superintendência Estadual do Meio Ambiente.

**RESUMO:** Uma prática que tem se destacado, mas cujo potencial pode ser melhor explorado, é a reutilização de água residual tratada. Existem vários obstáculos, destacando-se a rejeição pública, os custos envolvidos no que diz respeito as infraestruturas necessárias, o estabelecimento de preço competitivo e a ausência de legislação. A Europa está desenvolvendo uma regulamentação, mas somente para fins de agricultura, deixando outras finalidades descobertas no que tange aos padrões de segurança. Outro ponto a ser considerado é o monitoramento, devendo-se estabelecer a sua periodicidade, tanto da qualidade do efluente tratado como do meio onde está sendo reutilizado. Para o fortalecimento dessa prática, portanto, faz-se necessário um gerenciamento integrado do setor da água, um fortalecimento da cooperação entre os interessados, o estabelecimento de instrumentos econômicos financiadores dos projetos, a construção de confiança e credibilidade e o estabelecimento de critérios claros sobre quando reutilizar e quais os padrões de qualidade que se deve seguir.

**Palavras-chave:** Água residual. Reuso. Obstáculos.

**ABSTRACT:** A practice that has stood out, but whose potential can be better exploited, is the reuse of treated wastewater. There are several obstacles, including public rejection, the costs involved with regard to the necessary infrastructure, the establishment of a competitive price and the absence of legislation. Europe is developing regulations, but

only for agricultural purposes, leaving other purposes uncovered with regard to safety standards. Another point to be considered is monitoring, and its periodicity must be established, both in terms of the quality of the treated effluent and the environment where it is being reused. Therefore, to strengthen this practice, it is necessary to have an integrated management of the water sector, a strengthening of cooperation between stakeholders, the establishment of economic instruments that finance the projects, the building of trust and credibility and the establishment of clear criteria on when to reuse and what quality standards to follow.

**Keywords:** Wastewater. Reuse. Obstacles.

## 1 INTRODUÇÃO

Água é um recurso natural precioso e vital para a manutenção da vida no planeta Terra, levando o homem a procurar, desde os primórdios da civilização, formas de capturar, armazenar, limpar e distribuir água como uma forma de reduzir a sua vulnerabilidade ao fluxo lacustre irregular e a imprevisibilidade da chuva (RICART, 2019).

Todavia, o mesmo homem que necessita de água para a sua sobrevivência tem alterado o clima do planeta de tal forma que o acesso a esse recurso tem se tornado escasso em algumas regiões. Segundo (JIMÉNEZ CISNEROS *et al.*, 2014), as projeções das alterações climáticas mostram uma redução das fontes de recursos hídricos, tanto superficial quanto subterrânea, especialmente nas regiões subtropicais, com, aproximadamente, 7% da população mundial exposta a 20% menos fontes de água.

A reutilização de efluente tratado, portanto, ganha destaque no sentido de economizar água potável e reduzir o impacto ambiental pelo descarte de água residual em recursos hídricos superficiais (ALBERICH *et al.*, 2018; NARR *et al.*, 2019). Há, entretanto, barreiras que impedem uma efetiva implementação do reuso de águas residuais. Assim, considerando que a água é vital para a maioria dos seres vivos e é



essencial para grande parte das atividades econômicas, o presente artigo pretende apresentar uma discussão sobre as perspectivas da reutilização de água residual tratada.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Realizou-se um levantamento bibliográfico utilizando a plataforma eletrônica “Web of Science”, buscando por palavras-chave tais como: “wastewater reuse”, “wastewater treatment”, “guidelines or laws for wastewater reuse”, etc. Após essa primeira pesquisa, buscou-se pelas referências citadas nas bibliografias analisadas.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 O reuso de água e suas possibilidades

Diante das previsões de redução da disponibilidade hídrica, uma alternativa que tem se destacado ultimamente, mas cujo potencial ainda pode ser melhor explorado, é a reutilização de água residual tratada, uma fonte que não depende da incerteza climática e contribui para a transição para uma economia mais circular, trazendo benefícios nas vertentes econômica, ambiental e social, reservando o aproveitamento da água potável para usos exclusivamente de consumo humano, além do reaproveitamento de nutrientes presentes no efluente tratado, para uma maior produtividade agrícola. A Tabela 1 apresenta os percentuais de reuso no mundo.

**Tabela 1 - Percentual de reuso de água residual tratada no mundo, segundo Gondhalekar *et al.* (2019)**

CONTINENTE	PAÍS	PERCENTUAL DE REUSO (%)
América	Estados Unidos da América	4,6
	México	11,1

	Brasil	0,1
Europa	Chipre	91,7
	Malta	60,0
	França	10,0
	Espanha	16,0
	Itália	1,2
	Portugal	0,5
Ásia	China	8,0
	Japão	1,2
	Coreia do Sul	2,0
	Singapura	38
África	África do Sul	45,5
	Namíbia	29,7
	Marrocos	10,0
Oriente Médio	Israel	93,8
	Árabiã Saudita	64,9
	Líbano	0,7
	Kuwait	26,7
Oceania	Austrália	20,1
	Global	11,6

Várias são as possibilidades de reutilização de água residual tratada, destacando-se a agricultura, a indústria, a aquicultura e usos urbanos (rega de áreas verdes, lavagem de ruas, lagos artificiais, etc), além da recarga de aquífero e o uso direto como água potável, onde a água residual purificada é adicionada diretamente ao sistema de abastecimento de água potável ou à fonte de água bruta que abastece esse sistema. Para cada um desses usos, entretanto, a água precisa possuir uma qualidade específica, de forma a garantir a segurança ambiental e de saúde pública, obtida através das várias

tecnologias já disponíveis no mercado (BIXIO *et al.*, 2006; DUONG; SAPHORES, 2015; HIDALGO *et al.*, 2007; MENESES; PASQUALINO; CASTELLS, 2010).

Na Flórida, Estados Unidos, 54% do esgoto tratado é usado na agricultura e 40 milhões de m<sup>3</sup>/ano é usado para irrigação de campos de golfe e outras áreas verdes. No Texas, o efluente é reutilizado para irrigação de campos de golfe e parques municipais e escolares. Na Califórnia, em El Dorado Hills, 58.000 m<sup>3</sup>/dia de água residual tratada é reusada em jardinagem e campos de golfe e em Monterey, 1.500 m<sup>3</sup>/dia é reutilizada para irrigação de vegetais (DUONG; SAPHORES, 2015). Apesar desses percentuais, em termos nacionais os Estados Unidos só reutilizam 4,6% do esgoto tratado no país (GONDHALEKAR; AL-AZZAWI; DREWES, 2019).

No continente americano, o percentual de reuso ainda é pequeno, com o México possuindo a maior percentagem com 11,1% e o Brasil com 0,1% de reutilização do efluente tratado (GONDHALEKAR; AL-AZZAWI; DREWES, 2019). Na América Latina, mais de 500.000 há de terra agricultável é irrigada com esgoto bruto (DUONG; SAPHORES, 2015). De acordo com Duong e Saphores (2015), o continente europeu reutiliza somente 2,4% de água residual tratada, com destaque para Chipre e Malta cujos índices de reutilização são de 91,7% e 60%, respectivamente. Praticamente 3/4 dessa fonte alternativa de água é utilizada na agricultura, sendo os outros usos distribuídos entre aplicação ambiental, recarga de aquífero, usos industriais e urbanos. Segundo Bixio *et al.* (2006), nas regiões do sul da Europa, 44% dos projetos de reuso são para agricultura e 37% para aplicações urbanas e ambientais, enquanto no norte do continente 51% das aplicações de reuso são urbanas e ambientais e 33% para usos industriais.

Nos continentes asiático e africano, há um significativo uso (mais de 50%) de água residual não tratada na agricultura. Na China, somente 8% do total de esgoto tratado é reutilizado. Apesar desses exemplos negativos, a Namíbia, com 2/3 da população sem acesso a esgotamento sanitário, possui uma planta que produz água potável a partir do tratamento de efluente, o que representou, em 2002, mais de 1/3 da necessidade de água da cidade onde a estrutura funciona (DUONG; SAPHORES, 2015). A África do Sul e a Namíbia se destacam no continente africano com 45,5% e 29,7% de reutilização de

águas residual tratada, respectivamente, enquanto na Ásia o destaque vai para Singapura, com 38% de reuso de efluente tratado (GONDHALEKAR; AL-AZZAWI; DREWES, 2019).

No Oriente Médio, o reuso de água residual tratada é majoritariamente feito na agricultura, mas há ainda locais onde o esgoto bruto é utilizado, como no Egito, Iran, Líbano, Palestina, Síria e Iêmen. Nesse território, Israel destaca-se reutilizando 93,8% da água residual tratada no país, posição essa devida não somente a um aparato legislativo existente a várias décadas, mas também devido as suas instituições e políticas que inspiram confiança nos usuários de água residual tratada. Além da escassez hídrica, o fornecimento de apoio técnico pelo governo e um preço 20% menor do que a água bruta, são fatores que facilitam a aceitação pública do reuso em Israel (GONDHALEKAR; AL-AZZAWI; DREWES, 2019).

Na Oceania, o destaque vai para a Austrália, com uma percentagem de coleta de esgoto de 87,3%, dos quais 95,5% é tratado e desses, 20,1% é reutilizado. Em termos mundiais, segundo Gondhalekar *et al.* (2019), 11,6% da água residual tratada é reutilizada para alguma finalidade, mas com diferenças entre países em um mesmo continente. A Europa, por exemplo, possui um índice de coleta e tratamento de esgoto em torno de 93%, mas o reuso em Chipre é em torno de 92% enquanto na França, na Espanha e em Portugal os percentuais são de 10%, 16% e 0,5%, respectivamente. Ser um país industrializado ou com renda elevada, não significa possuir altas taxas de reuso. A escassez hídrica, entretanto, pode ser um indicador, considerando os altos índices de reuso nos países do Oriente Médio, mas nem sempre, uma vez que a Itália e a Espanha reutilizam 1,2% e 16% de suas águas residuais tratadas, respectivamente (GONDHALEKAR; AL-AZZAWI; DREWES, 2019).

### **3.2 Desafios para reutilização de águas residuais tratadas**

Um dos principais obstáculos para o reuso de efluente tratado é a rejeição pública, nomeadamente por conta do receio de efeitos deletérios à saúde humana,

causada principalmente pela desinformação (DUONG; SAPHORES, 2015). O que muitas pessoas não sabem é que já reutilizam água residual, tratada ou não, de forma indireta, pois os esgotos são sempre lançados no solo, no mar ou em recursos hídricos superficiais que servem de fonte de abastecimento de água potável.

É claro que essa realidade não justifica o reuso de forma irresponsável e para minimizar os riscos microbiológicos envolvidos, já existem tecnologias disponíveis além da adoção de barreiras físicas como a restrição de acesso à áreas onde água de baixa qualidade é usada e o processamento de produtos irrigados com água residual (DUONG; SAPHORES, 2015). A isso acrescenta-se a separação efetiva da coleta entre esgoto doméstico e esgoto industrial, devendo-se reutilizar apenas o esgoto doméstico tratado. Ricart (2019) pontua ainda que é importante uma melhor comunicação da comunidade científica com a população e com os interessados e a participação desses nos projetos de reuso. A educação pública, que informe sobre a escassez hídrica e a segurança da água residual tratada, e o marketing feito por agências de água, com apoio de especialistas reconhecidos, não associando a água recuperada ao esgoto, também é uma estratégia para vencer essa barreira (DUONG; SAPHORES, 2015).

Outro obstáculo para a reciclagem de água residual são os custos envolvidos, nomeadamente no que diz respeito às infraestruturas necessárias e, por conseguinte, estabelecer um preço competitivo com a fonte natural, tornando-a atrativa para os potenciais usuários. Vários estudos verificaram a vontade de pagar pela água residual tratada, mostrando que essa variável depende da intenção do uso, das alternativas disponíveis e da existência de crise. Água residual recuperada pode então ser precificada com base numa avaliação comparativa baseada na vontade de pagar dos usuários. Incentivos também podem ser considerados, a curto prazo, para seduzir potenciais usuários a superarem suas apreensões (DUONG; SAPHORES, 2015).

No que tange à legislação, nomeadamente ao estabelecimento dos padrões de qualidade para utilização de água recuperada para um determinado fim, a sua ausência dificulta a aprovação dos projetos por parte do órgão ambiental licenciador, que precisa confirmar se o tratamento pelo qual o efluente passará produzirá uma água dentro

dos padrões recomendados pela legislação vigente, para a finalidade proposta. Nesse aspecto, realizou-se uma pesquisa bibliográfica para verificar a situação da legislação ambiental em torno da temática do reuso de água residual. Observou-se, por conseguinte, que a estrutura legal e institucional acerca da reutilização de efluente tratado ainda é fraca ou inexistente em alguns países. Alguns fazem referência a padrões internacionais, os quais são muito gerais ou que demandam soluções de elevado custo (HIDALGO *et al.*, 2007).

Nos Estados Unidos da América, por exemplo, não há padrão federal disciplinando o reuso de água e sim regulamentações estaduais. Em 2004, a Agência Ambiental Americana (EPA) atualizou um documento publicado em 1992, e publicou o documento “Guidelines for Water Reuse”, que apresenta as diretrizes para o reuso de água e examina as oportunidades de uso de efluentes tratados (CAIXETA, 2010).

Na Europa ainda não há padrão estabelecido em nível de União Européia, mas sabe-se que existe uma proposta nesses termos sendo analisada, conforme informa Alberich *et al.* (2018). Enquanto isso, alguns países europeus possuem legislação própria, como a Espanha que através do Real Decreto 1620/2007, regula os níveis de qualidade, os usos possíveis e o monitoramento da água reciclada (ALBERICH *et al.*, 2018). A ausência de regulação e de entendimento público tem comprometido o desempenho da Europa no campo do reuso de água residual tratada, onde atualmente 1,7 bilhões de m<sup>3</sup>/ano de efluente tratado é reutilizado, mas esse número poderia ser 6,6 bilhões m<sup>3</sup>/ano, a um custo de 0,5 euros/m<sup>3</sup> (DUONG; SAPHORES, 2015).

Israel, por sua vez, conforme comentando na sessão anterior, destaca-se com um elevado percentual de reutilização de água residual tratada devido, principalmente, a presença de instituições e políticas que inspiram confiança aos usuários e a existência de uma forte legislação (GONDHALEKAR; AL-AZZAWI; DREWES, 2019). Independente do país, o que a legislação precisa definir são limites máximos de concentração de cada parâmetro presente na água recuperada, de forma a não causar problemas de saúde e impacto ambiental negativo quando da sua reutilização para os mais variados fins.

Dentre esses parâmetros, de acordo com vários autores (GONDHALEKAR; AL-AZZAWI; DREWES, 2019; HIDALGO *et al.*, 2007; MENESES; PASQUALINO; CASTELLS, 2010) pode-se citar como os mais relevantes a carência bioquímica de oxigênio (CBO5), a carência química de oxigênio (CQO), os sólidos suspensos totais (SST), os sólidos dissolvidos totais (SDT), a turbidez, a concentração de nutrientes (nitrogênio e fósforo), os organismos patogênicos (coliformes fecais, especialmente), o residual de cloro, o oxigênio dissolvido, os ovos de geohelmintos, a condutividade elétrica, a razão de adsorção de sódio e o potencial hidrogeniônico (pH). Além desses, em algumas situações pode ser necessário verificar a presença de vírus, organismos traços e metais pesados (ALBERICH *et al.*, 2018).

No regulamento que está sendo proposto pela União Europeia, apenas a irrigação na agricultura está sendo considerada, com a proposição de quatro classes de água residual, de acordo com a cultura a ser irrigada, sendo a classe A mais restritiva, podendo ser utilizada para todas as culturas alimentícias, incluindo os alimentos consumidos crus ou cuja parte comestível entre em contato direto com a água residual tratada, e a classe D a menos restritiva, usada para o cultivo de culturas com fins industriais e de produção de energia. O tipo de tratamento e a periodicidade do monitoramento também varia entre as classes, sendo a classe A que necessita de um maior nível de tratamento e um monitoramento mais rigoroso.

Na análise das legislações existentes, observou-se diferenças entre as normas no que se refere aos parâmetros escolhidos e os seus respectivos limites máximos permitidos. Isso porque, a depender da finalidade do reuso, o padrão deve ser mais ou menos restritivo, além das características locais exercerem forte influência na definição dos limites. O reuso na agricultura, por exemplo, depende das características do solo e da cultura a ser irrigada (MENESES; PASQUALINO; CASTELLS, 2010).

Como não há uma legislação comum para o reuso de água no mundo, é frequente o uso das diretrizes da Organização Mundial de Saúde (OMS) por aqueles que não possuem uma legislação específica (HIDALGO *et al.*, 2007). As diretrizes da OMS tem o objetivo de proteger a saúde pública e facilitar o uso racional de água residual

tratada na agricultura e aquicultura (CARR, 2005). Alguns países como Israel, África do Sul, Japão e Austrália, entretanto, consideram as diretrizes da OMS muito brandas para proteger a saúde humana (CAIXETA, 2010). Dada as particularidades de cada local, é difícil o estabelecimento de um padrão universal. Até mesmo as diretrizes da OMS devem ser adaptadas aos fatores sociais, econômicos e ambientais locais (CARR, 2005). É preciso, portanto, que cada região, com base nas suas características, estabeleça os seus padrões, ação essa reconhecida como um dos incentivos ao aumento dos projetos de reuso como também influenciadora da opinião pública em termos de confiança e aceitação da política de reciclagem de água (ALBERICH *et al.*, 2018).

No desenvolvimento desses padrões, deve-se levar em consideração as tecnologias de tratamento disponíveis, tendo em mente que padrões excessivamente restritos podem não ser sustentáveis e, paradoxalmente, levar a uma menor proteção porque podem ser vistos como inatingíveis sob as circunstâncias locais e, dessa forma, ignorados (CARR, 2005). Outro ponto a ser levado em conta é o monitoramento dos projetos de reuso. A legislação que rege a reutilização de água residual deve estabelecer também a periodicidade do monitoramento, tanto da qualidade do efluente tratado como do meio onde está sendo reutilizado, de forma a verificar se não há um comprometimento do solo, da água e/ou dos alimentos cultivados.

Resumidamente, conforme alguns autores (ALBERICH *et al.*, 2018; BIXIO *et al.*, 2006; MALISA; SCHWELLA; KIDD, 2019), para o fortalecimento da reutilização de efluente faz-se necessário um gerenciamento integrado do setor da água, um fortalecimento da cooperação entre os interessados, o estabelecimento de instrumentos econômicos financiadores dos projetos, a construção de confiança e credibilidade e, principalmente, o estabelecimento de critérios claros sobre quando reutilizar e quais os padrões de qualidade que deve-se seguir. A falta de governança, estratégias e políticas relacionadas ao reuso de água residual tratada é um entrave para o aumento de escala de tais projetos (RICART, 2019).

O reuso de água deve ser visto como uma reserva estratégica, especialmente em regiões que já sofrem com stress hídrico, influenciando inclusive no quesito



econômico, pois mesmo em situações em que a distância entre a Estação de Tratamento de Água Residual (ETAR) e o local do reuso indique inviabilidade econômica, numa situação de crise onde não há água disponível, será que essa inviabilidade permaneceria?

#### 4 CONCLUSÃO

Em um cenário de alterações climáticas e previsão de redução da disponibilidade hídrica, o reuso de água residual tratada apresenta-se com um grande potencial como fonte alternativa de água, principalmente para fins não potáveis, mas também para fins potáveis, dependendo da realidade local, como prova a Namíbia com sua planta de tratamento de esgoto para produção de água potável.

Apesar dos vários casos de sucesso, observou-se que o percentual de reuso de água residual, a nível mundial, ainda é baixo. Isso pode ser explicado por que, ao comparar com as fontes convencionais de água, o gerenciamento dessa matéria-prima é mais complexo, envolve custos mais elevados, é visto como arriscado em termos de saúde e o seu uso é condicionado pela existência de regulamentação.

Vencida as barreiras técnicas, institucionais e sociais, observa-se uma grande potencialidade de aumento do reuso de águas residuais tratadas, especialmente em países em desenvolvimento onde somente uma média de 8% do esgoto é tratado e muito efluente bruto é utilizado na agricultura, como na China e na Índia (DUONG; SAPHORES, 2015). Somando a essa realidade as previsões de aumento populacional, com o consequente aumento do volume de esgoto produzido, vislumbram-se uma expansão das práticas de reutilização de água residual tratada para as diversas finalidades possíveis, de forma a tornar as regiões mais resilientes.

Destaca-se também a necessidade de fortalecer as pesquisas em tratamento e reuso de efluentes, principalmente no tocante aos riscos associados à saúde com os poluentes emergentes e encontrar uma maneira de tornar os custos associados competitivos com as fontes convencionais. Nesse cenário surge a vertente do

monitoramento, extremamente necessário para garantir a eficiência e a segurança dos projetos de reuso.

É inegável que as atividades antropogênicas têm interferido na disponibilidade hídrica global por meio das alterações climáticas, mas o mesmo homem que destrói é capaz de encontrar a solução para esse problema e o reuso de água residual tratada é uma dessas soluções, necessitando de um maior comprometimento dos gestores públicos e engajamento dos interessados.

## 5 AGRADECIMENTOS

À Universidade de Lisboa e à Superintendência Estadual do Meio Ambiente

## 6 REFERÊNCIAS

ALBERICH, J. P.; MUKHTAROV, F.; DIEPERINK, C.; DRIESSEN, P.; BROEKMAN, A. Upscaling urban recycled water schemes: An analysis of the presence of required governance conditions in the city of Sabadell (Spain). **Water (Switzerland)**, v. 11, n. 1, p. 1-13, 2018.

BIXIO, D.; THOEYE, C.; DE KONING, J.; JOKSIMOVIC, D.; SAVIC, D.; WINTGENS, T.; MELIN, T. Wastewater reuse in Europe. **Desalination**, v. 187, n. 1, p. 89–101, 2006.

CAIXETA, Cláudia Elizângela Tolentino. **Avaliação do atual potencial de reúso de água no estado do Ceará e propostas para um sistema de gestão**. 2010. 324 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental) - Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

CARR, R. H.; FRANS, P.; RASCHID-SALLY, L.; RAGAB, R. Who guidelines for safe wastewater use - More than just numbers. **Irrigation and Drainage**, v. 54, n. 1, p. 103–111, 2005.

DUONG, K.; SAPHORES, J.-D. M. Obstacles to wastewater reuse: an overview. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v. 2, n. 3, p. 199–214, 2015.

GONDHALEKAR, D.; AL-AZZAWI, M.; DREWES, J. E. Urban Water Reclamation with Resource Recovery as a Cornerstone of Urban Climate Change Resilience. *In*: FILHO, W. L. (Org.). **Handbook of Climate Change Resilience**. 1 ed. Munich: Springer International Publishing, 2019. 2834 p.

HIDALGO, D.; IRUSTA, R.; MARTINEZ, L.; FATTA, D.; PAPADOPOULOS, A. Development of a multi-function software decision support tool for the promotion of the safe reuse of treated urban wastewater. **Desalination**, v. 215, n. 1–3, p. 90–103, 2007.

JIMÉNEZ CISNEROS, B. E.; OKI, T.; ARNELL, N. W.; BENITO, G.; COGLEY, J. G.; DÖLL, P.; JIANG, T.; MWAKALILA, S. S. Freshwater resources. *In*: FIELD, C. B. *et al.* (Org.). **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, p. 229–269, 2014.

MALISA, R.; SCHWELLA, E.; KIDD, M. From ‘government’ to ‘governance’: A quantitative transition analysis of urban wastewater management principles in Stellenbosch Municipality. **Science of the Total Environment**, v. 674, p. 494–511, 2019.

MENESES, M.; PASQUALINO, J. C.; CASTELLS, F. Environmental assessment of urban wastewater reuse: Treatment alternatives and applications. **Chemosphere**, v. 81, n. 2, p. 266–272, 2010.

NARR, C. F.; SINGH, H.; MAYER, P.; KEELEY, A.; FAULKNER, B.; BEAK, D.; FORSHAY, K. J. Quantifying the effects of surface conveyance of treated wastewater effluent on groundwater, surface water, and nutrient dynamics in a large river floodplain. **Ecological Engineering**, v. 129, p. 123–133, 2019.

PAULINO, N.; BEZERRA, R. Consumo deve chegar a 20 mil litros por segundo, diz estudo - Metro - Diário do Nordeste. **Diário do Nordeste**, 2018. Disponível em: <https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/editorias/metro/consumo-deve-chegar-a-20-mil-litros-por-segundo-diz-estudo-1.1943200>. Acesso em: 26 jun. 2019.

RICART, S. Challenges on European Irrigation Governance: From Alternative Water Resources to Key Stakeholders’ Involvement. **Journal of Ecology & Natural Resources**, v. 3, n. 2, p. 1-8, 2019.

## PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS COMO UM CAMINHO PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: UM RETRATO DAS EMPRESAS CEARENSES

Letícia de S. Ferreira <sup>1</sup>, Matheus C. Lopes <sup>1</sup>, Maione R. de C. Cardoso <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduação em Administração, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Estudos Sociais Aplicados, \*e-mail: leticiade.sousa@aluno.uece.br.

<sup>2</sup>Universidade Estadual do Ceará, Centro de Estudos Sociais Aplicados.

**RESUMO:** Em decorrência da produção exorbitante das indústrias e do maior consumo da sociedade por recursos, originou-se um crescimento de resíduos e lixo no meio ambiente, gerando poluição e degradação ambiental. Assim, o artigo tem como objetivo elencar as ações e práticas, bem como as políticas internas, das empresas quanto a gestão de resíduos e a reciclagem no Ceará. A metodologia utilizada neste estudo foi uma pesquisa de natureza qualitativa, descritiva e exploratória, e o método para a coleta de dados consistiu no levantamento bibliográfico em livros e artigos científicos, além da aplicação de um questionário de 30 questões enviado por e-mail e pelas redes sociais (*Instagram e Whatsapp*) para 300 empresas cearenses. Os resultados demonstram que os empreendimentos do Ceará possuem ações pontuais de gestão de resíduos e reciclagem em suas práticas e políticas, no entanto não há impactos determinantes para a redução dos resíduos na sociedade, necessitando de ações do município para auxiliar na solução dessa problemática.

**Palavras-chave:** Empreendimentos. Gestão de resíduos. Ceará.

**ABSTRACT:** As a result of the exorbitant production of industries and the greater consumption of society by resources, there was an increase in waste and garbage in the environment, generating pollution and environmental degradation. Thus, the article aims to list the actions and practices, as well as internal policies, of companies regarding waste

management and recycling in Ceará. The methodology used in this study was a qualitative, descriptive and exploratory research, and the method for data collection consisted of a bibliographic survey in books and scientific articles, in addition to the application of a questionnaire of 30 questions sent by e-mail and by social networks (Instagram and Whatsapp) for 300 companies from Ceará. The results demonstrate that Ceará's enterprises have specific actions for waste management and recycling in their practices and policies, however there are no determinant impacts for the reduction of waste in society, requiring actions by the municipality to help solve this problem.

**Keywords:** Enterprises. Waste Management. Ceará.

## 1 INTRODUÇÃO

O estudo da sustentabilidade trata-se de um tema recorrente e urgente no contexto atual. A discussão iniciou devido a evolução disruptiva da capacidade produtiva nas organizações por intermédio das revoluções industriais. O modelo adotado pelas grandes empresas é da produção em larga escala, utilizando uma elevada quantidade de matéria prima e que por consequência gera muitos resíduos ao ambiente.

Em decorrência a esse avanço da degradação do meio ambiente provocada pelas ações humanas, as discussões para se reduzir ou mudar esse *modus operandi* conduziu a buscar ações em prol da sustentabilidade desde o modo de produção, consumo e descarte. E neste ínterim, o empreendedorismo começou a ter uma perspectiva mais consciente e amigável em relação às questões sociais e ambientais. A partir dessa visão, surgiu um novo mercado, motivado e induzido pelas normas ambientais, mas também em função da demanda de consumidores por novos produtos e serviços menos agressivos a natureza.

O termo sustentabilidade, conhecido por áreas específicas do conhecimento foi popularizado e entendido por estudiosos como fator principal das futuras relações comerciais. A concepção de sustentabilidade é originária da biologia, ação de resistir e

se perpetuar dos ecossistemas frente às agressões humanas (NASCIMENTO, 2012). Com o início das discussões internacionais sobre meio ambiente e a descoberta da finitude dos recursos naturais presentes na terra, este termo passou a ter uma nova finalidade, aplicada a gestão, política, modo de produção, bem-estar social (MAY, 1999).

A sustentabilidade passou a ser definida como adjetivo de um desenvolvimento econômico responsável. Mantendo o crescimento econômico de maneira sustentável, reconhecido por Montibeller Filho (1993) inicialmente como ecodesenvolvimento. E amplamente disseminado por Sachs (1994) como desenvolvimento sustentável. Estes termos concentram a ideia de assegurar não só a progressão econômica presente, mas também a das futuras gerações que a sucederão (MONTIBELLER FILHO, 1993). Associando os aspectos econômicos em concomitância aos objetivos sociais e uma gestão ecológica prudente dos recursos naturais.

A partir da ressignificação do termo sustentabilidade e a difusão da preocupação socioambiental vigente passou-se a institucionalizar esse conceito nas organizações. As práticas sustentáveis foram sendo incorporadas a organização e desvirtuadas à medida que não favoreciam a empresa. Por isso, são necessários o monitoramento e o uso de indicadores ambientais para constatar a eficiência destas gestões, políticas e práticas.

O uso desenfreado de recursos e a produção em massa acarretam ao meio ambiente impactos diretos pela excessiva produção de resíduos, como a poluição do solo, ar e lençóis freáticos e indiretos, como o aquecimento global. Desta forma, a pesquisa em questão analisou as políticas e práticas de gestão de resíduos nos empreendimentos cearenses e indagou-os se essas empresas realizam a reciclagem de seus resíduos e os descartam corretamente.

No contexto atual, em que as organizações exploram a terra e a sociedade, o estudo em questão é justificado por preocupar-se com o descarte correto de resíduos e a escassez de recursos para desenvolvimento da sociedade futura. Assim, a pesquisa tem por objetivo: Elencar as ações e práticas, bem como as políticas internas, das

empresas com relação a gestão de resíduos e reciclagem no Ceará. Suscitado por um desenvolvimento consciente e sustentável para garantir a preservação do meio ambiente.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo caracteriza-se em uma pesquisa de natureza qualitativa com cunho descritivo e exploratório. Segundo Zanella (2009), o estudo qualitativo equivale a uma análise dos dados com suporte nos conhecimentos teóricos-empíricos. Neste contexto, este trabalho concentrou em compreender como as empresas cearenses têm agregado suas ações e políticas a uma gestão correta de resíduos e reciclagem.

Com isso, para o desenvolvimento do assunto, foi empregado o método descritivo. Conforme Gil (2008), esse meio abrange em apresentar as características de um fenômeno estabelecido com relação às suas variáveis, assim o processo para a coleta de dados indiretos ocorreu por meio de um levantamento bibliográfico de livros e artigos científicos sobre os temas do empreendedorismo sustentável, sustentabilidade, indicadores, desenvolvimento sustentável, gestão de resíduos e reciclagem.

Quanto ao objetivo este estudo tem ainda fundamento exploratório. De acordo com Raupp e Beuren (2006), a pesquisa exploratória é utilizada para esclarecer fenômenos não tão evidentes a sociedade e usada na condução dos procedimentos. Dessa maneira, essa pesquisa buscou identificar as práticas e políticas direcionadas a destinação correta de resíduos e reaproveitamento de materiais nas empresas do Ceará.

O artigo delimitou-se em analisar a temática do trabalho no estado do Ceará, pois é uma região que enfrentou ao longo do tempo, grandes impactos socioambientais acarretados por um desenvolvimento sem planejamento e em bases insustentáveis. Logo, a sustentabilidade surge como um fator estratégico que tem a capacidade de auxiliar para um progresso econômico com uso prudente dos recursos naturais. Com base nessa meta, a segunda parte da pesquisa consistiu na coleta de dados diretos através da aplicação de um questionário, que é uma técnica de investigação que se fixou em obter informações sobre as empresas cearenses (GIL, 2008).

Sua elaboração foi feita pelo serviço da plataforma do Formulário Google com um total de 30 questões entre abertas e fechadas de múltiplas escolhas. A seleção da amostra das empresas cearenses é não probabilística, intencional, relacionada com questões sustentáveis. O levantamento dessas empresas ocorreu por meio de publicações em jornais e revistas habituais, sites institucionais, redes sociais, feiras sustentáveis e documentos oficiais da Federação das Indústrias do Estado do Ceará (FIEC).

Os critérios empregados para a seleção dos empreendimentos pesquisados foram: organizações ativas no estado do Ceará que apresentavam valores, missões, visões, políticas, processos, práticas, projetos, certificações e/ou prêmios nos âmbitos sociais e ambientais. Com isso, foram coletadas 300 empresas ditas sustentáveis no Ceará.

O questionário foi enviado por e-mail e pelas redes sociais (*Instagram* e *Whatsapp*) desses empreendimentos. Como resultado, obteve-se 65 respostas das empresas pesquisadas e 235 não responderam o formulário. Dessa maneira, os dados adquiridos foram organizados e apresentados em Gráficos e quadros, e analisados indutivamente, ou seja, partindo de informações particulares para após generalizar o fato examinado (ALYRIO, 2009).

### **3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **3.1 A gestão de resíduos e o reaproveitamento de materiais**

O conceito do desenvolvimento sustentável mostrou-se ser uma inovação que fornece um padrão decente e integrado das dimensões econômicas, ambientais e sociais para o progresso econômico, principalmente para a gestão empresarial por meio de novos conceitos, modelos e instrumentos ecologicamente corretos.

Segundo Jacobi e Besen (2011), a geração excessiva de resíduos sólidos é um dos grandes problemas desse sistema econômico consumista. Tornando-se



insustentável a permanência a este modelo de produção e consumo. A má gestão de resíduos pode ocasionar impactos socioambientais graves, como: a degradação do solo; a poluição dos lençóis freáticos, solo e ar; enchentes; e a diminuição da qualidade de vida da sociedade (BESEN *et al.*, 2010 *apud* JACOBI; BESEN, 2011). Assim, para se combater esta política passou-se a discutir mais o reaproveitamento, a reciclagem e a busca pelo impacto cada vez menor de resíduos ao ambiente.

Com fundamento neste contexto, os empresários reconheceram essas incorporações e passaram a investir mais em propostas inovadoras com o propósito de romper procedimentos exorbitantes da produção, da estrutura e do consumismo com a finalidade de viabilizar a diminuição dos prejuízos negativos ao meio ambiente e fornecer uma qualidade de vida melhor as pessoas (GERLACH, 2003; KUCKERTZ; WAGNER, 2010; SCHALTEGGER; WAGNER, 2011 *apud* ORSIOLLI; NOBRE, 2016).

O reaproveitamento e a gestão correta de resíduos irrompem para a organização a possibilidade de economizar recursos e minimizar o impacto ao meio ambiente praticado pela empresa. Posto isto, o Quadro 1 apresenta as principais políticas de gestão de resíduos e reaproveitamento de materiais realizadas pelas empresas cearenses com o intuito de preservar o ambiente.

**Quadro 1 - Políticas de gestão de resíduos e reaproveitamento de materiais praticadas pelas empresas cearenses (2020)**

<b>Políticas Elencadas</b>
Investimentos em projeto de inovação para o meio ambiente e política de meio ambiente
Controle e melhoria contínua no processo de tratamento de seus efluentes
Implementação e modernização de equipamentos eletromecânicos e dos quadros de comandos dos sistemas de água e de esgoto
Coleta dos resíduos perigosos
Programa de Logística Reversa dos resíduos
Coleta, tratamento e destino final a resíduos sólidos domésticos, industriais e outros

Plano de gerenciamento de resíduos; programas de coleta, reciclagem e reaproveitamento dos principais resíduos; e conscientização de seus colaboradores
Investimentos na aquisição de equipamentos de controle ambiental
Realiza medições de poluentes gerados em toda sua cadeia produtiva

Fonte: Elaboração própria, dados da pesquisa.

As políticas ambientais que necessitam de investimentos, como: implementação de tecnologias na gestão sanitária e elétrica, investimentos em projetos de inovação para o menor uso de recursos, equipamentos de controle ambiental e a logística reversa de resíduos são políticas onerosas. Contudo, proporcionam a preservação ambiental e combatem às problemáticas vistas anteriormente. Permitindo a economia de recursos frente a escassez que permeia o estado do Ceará e resultando em um retorno financeiro pelo reuso de materiais.

As políticas elencadas de gestão de resíduos são incorporadas na missão e valores da organização, suscitando em seu modo de realizar através das práticas diárias na empresa. Desta forma, o Gráfico 1 aponta as principais práticas de gestão de resíduos ou reutilização de recursos implementadas por estes empreendimentos.

**Gráfico 1 – Principais práticas de gestão de resíduos assentidas pelas empresas cearenses (2020)**



Fonte: Elaboração própria, dados da pesquisa.

Conforme mostra o Gráfico 1, dentre as práticas realizadas pelas empresas cearenses, a reciclagem ou reuso dos resíduos sólidos ou líquidos e o procedimento da logística reversa são as mais executadas pelos empreendimentos pesquisados. Com isso, constata-se que há uma redução de resíduos no meio ambiente mediante a criação de novos produtos por meio do retorno de insumos usados anteriormente. Em que foi inclusive manifestado pela prática da reutilização de matérias-primas no ciclo de produção da maior parte das empresas do Ceará.

Além disso, a maioria expôs que a embalagem de seus produtos são recicláveis ou são recicladas pela organização, que também contribui para a diminuição de plásticos, principal material usado neste item, no ecossistema. Contudo, as atividades de adoção de tecnologia alternativa, como torneira automática, e o tratamento de afluentes ou lixo químico obtiveram uma menor parcela nos empreendimentos cearenses em razão de serem investimentos mais complexos e caros de serem efetuados.

Apesar das políticas e ações pontuais realizadas pelas empresas cearenses constatadas por esta pesquisa, o Ceará situa entre o 1º no Nordeste e o 4º no País que mais produziu resíduos sólidos por dia em 2019 (ABRELPE, 2019). Realidades diferentes do que a vista na pesquisa e que elucidam a necessidade de implementação de ações mais enérgicas e efetivas para tratamento desses resíduos.

Ademais, vale salientar que, segundo o balanço da ABRELPE (2019), 55,2% dos resíduos descartados no Estado são levados a locais irregulares, ou seja, que não possuem impermeabilizantes, tratadores de chorume e efetiva reciclagem do material, permitindo a poluição do solo, dos lençóis subterrâneos e possibilitando a proliferação de doenças.

Ainda que se tenha uma política municipal para viabilizar a gestão de resíduos, o Ecoponto<sup>2</sup>, constata-se como uma política de baixo alcance. Entre suas dificuldades está a pouca adesão de empresas, sociedade e recicladores. Em razão da ausência de

---

<sup>2</sup> Espaços físicos distribuídos estrategicamente em uma área para o descarte correto de resíduos, propiciando a coleta seletiva de entulhos, restos de poda, móveis, entre outros (ALMEIDA, 2020)

Educação Ambiental, do incentivo a participação e da limitada disposição física destes espaços de coleta (ALMEIDA, 2020). Contudo, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS; BRASIL, 2010) define que a gestão de descartes dos resíduos deve obedecer às seguintes diretrizes:

- a) Logística reversa: conjunto de ações e procedimentos destinados a viabilizar a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial para serem reaproveitados;
- b) Padrões sustentáveis de produção e consumo conscientes: utilizar-se somente dos recursos necessários e inevitáveis para produção e consumo, diminuindo assim o uso de materiais desnecessários para o processo;
- c) Reciclagem dos materiais: transformá-los em insumos ou novos produtos para reaproveitamento;
- d) Descarte: após todas as possibilidades esgotadas, os resíduos devem ser levados a locais adequados ambientalmente para a disposição final.

A PNRS destaca, em prioridade, a não geração excessiva de resíduos sólidos (pré-consumo), enquanto as políticas em suas maiorias adotadas pelos municípios focam na reciclagem e reutilização (pós-geração) de resíduos, como o Ecoponto. Desta forma, a responsabilidade dos resíduos sólidos é compartilhada tanto com a sociedade, as entidades públicas e principalmente entre as empresas privadas. Construindo a consciência ambiental compartilhada, reconhecida por Tachizawa (2010) como a cadeia promotora da sustentabilidade.

A partir dessas práticas citadas, amplamente disseminadas e corretamente utilizadas, as gerações futuras terão um ambiente saudável e recursos necessários para se desenvolverem. Manter-se omissos as questões socioambientais enfrentadas nos dias atuais terão consequências futuras desastrosas e irreparáveis, por isso é fundamental supervisionar o desempenho da organização em direção ao desenvolvimento sustentável. Posto isto, na subseção seguinte será retratado como essas empresas são monitoradas pelos indicadores sustentáveis.

### 3.2 Indicadores sustentáveis como instrumentos de monitoração

Com o advento da Era da Informação no mundo, a sociedade apresentou uma melhor consciência da inter-relação entre o crescimento econômico e a sustentabilidade. Esse novo posicionamento dos indivíduos despertou uma visão mais crítica sobre as empresas que declaram ser sustentáveis, de modo que essa comunidade constatou a necessidade de um mecanismo para examinar se as ações das companhias atendem aos critérios da sustentabilidade, com isso surgiram os indicadores.

De acordo com Hammond (1995 *apud* BELLEN, 2004), os indicadores são recursos que divulgam informações sobre o progresso de determinado fenômeno ou tendência em alcançar suas metas estabelecidas, esse mecanismo propicia uma interpretação mais evidente do caso. Malheiros, Philippi e Coutinho (2008 *apud* KEMERICH, RITTER E BORBA, 2014), também acentuam que essa ferramenta auxilia na avaliação dos resultados de um processo, dessa maneira é possível verificar o nível do seu desempenho.

Fundamentado nessa ideia, foram constituídas diversas metodologias para colaborar na formação dos indicadores sustentáveis, em que a finalidade consistia em medir e avaliar o grau da sustentabilidade através de um conjunto de fatores, como “aspectos ambientais, econômicos, sociais, éticos e culturais” (SICHE *et al.*, 2007). Sendo assim, sua elaboração poderia contribuir como um instrumento para monitorar o avanço do desenvolvimento sustentável, como também supervisionar as empresas que adotam a gestão ambiental nos seus processos.

Dessa maneira, a apuração desses parâmetros era direcionada às políticas e as práticas organizacionais, diante disso muitos negócios voltados a sustentabilidade começaram a incorporar esses parâmetros para acompanhar seu crescimento nesses novo modelo de mercado. Com isso, segundo Andrade (2012), os gestores têm a possibilidade de visualizar os efeitos de suas ações na comunidade e controlar sua performance através de planejamentos estratégicos para atingir a confiança dos consumidores e colaboradores, além de destacar entre seus concorrentes. Neste

contexto, no Gráfico 2 a seguir é abordado os indicadores utilizados pelas empresas sustentáveis no Ceará.

**Gráfico 2 – Instrumentos/padrões de avaliação da gestão socioambiental utilizados pelas empresas sustentáveis no Ceará (2020)**



Fonte: Elaboração própria, dados da pesquisa

Conforme exibe o Gráfico 2, os instrumentos de avaliação da SE que se destaca no Ceará são os relatórios de sustentabilidade, que indica que a maioria das organizações avaliam sua gestão socioambiental e disponibilizam os dados ao público externo como uma tática de marketing. De outro modo, os padrões mais específicos, como a pegada ecológica e o balanço social, tiveram uma menor presença na gestão dessas empresas que evidencia a ineficiência do monitoramento das organizações cearenses com suas políticas e práticas citadas posteriormente de forma mais cautelosa.

Porém, um dado interessante é que a parcela que não utilizam nenhum padrão ou planeja futuramente são equivalentes aos que adotam o relatório de sustentabilidade, dessa maneira essa informação revela que os instrumentos de avaliação a gestão socioambiental é um procedimento estratégico inexistente ou até desconhecido para alguns empresários do Ceará.

Logo, essas ferramentas de mensuração tornaram essenciais para acompanhar o progresso da organização ao desenvolvimento sustentável em virtude de sua capacidade de comunicar a sociedade e os gestores de forma objetiva e transparente a real situação dos impactos gerados pelos empreendimentos ao meio ambiente.

#### 4 CONCLUSÕES

Por fim, podemos observar que das empresas cearenses pesquisadas, há políticas e práticas voltadas à gestão e reciclagem dos resíduos. Porém, estas ações são incipientes ou pontuais e surtem pouco efeito quanto a poluição, degradação ambiental e redução de matérias primas, ou seja, pouco efetivas na sociedade quanto a gestão dos resíduos sólidos. De acordo com os dados disponíveis, mais da metade dos resíduos descartados no Ceará são depositados em locais irregulares e despreparados para armazená-los e/ou reciclá-los. Desta forma, cabe a responsabilidade dos municípios cearenses estabelecerem locais adequados para o descarte e o tratamento adequado do material.

No que tange aos indicadores socioambientais, essas ferramentas evidenciam ter uma relevância no progresso da sustentabilidade de uma organização, em razão de ser um instrumento gerencial e estratégico que permite ter uma perspectiva detalhada do avanço sustentável e dos impactos socioambientais gerados pelos empreendimentos. Mas, de acordo com a nossa pesquisa, a maior parte das empresas do Ceará revelaram não contemplar esse elemento na sua gestão, que atesta que essa ferramenta e sua função possuem pouco reconhecimento ou até desconhecimento pelos empresários cearenses.

Logo, nota-se que as empresas sustentáveis no Ceará não detêm de uma gestão integralmente comprometida com a sustentabilidade. Há uma falta de conhecimento dos empresários acerca da sustentabilidade empresarial e os modos como deve ser gerenciado a fim de melhorar a performance da empresa em relação às questões socioambientais.

## 5 AGRADECIMENTOS

Este artigo é baseado nos relatórios dos projetos de iniciação científica. Desta maneira, agradecemos a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico e o Programa de Iniciação Científica da Universidade Estadual do Ceará pelas bolsas de pesquisa que possibilitaram a experiência de iniciação à pesquisa científica. Somos gratos, também, pela confiança da nossa Prof.<sup>a</sup> Maione Rocha, orientadora do nosso projeto, por ter dado todo suporte na realização deste trabalho.

## 6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Valéria Campos de. **Coleta seletiva de resíduos sólidos em Fortaleza-CE: uma avaliação do ecoponto do bairro de Fátima**. 2020. 147 f. Dissertação (Mestrado em Avaliação de Políticas Públicas) - Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Estudos Interdisciplinares, Programa de Pós-Graduação em Avaliação de Políticas Públicas, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

ALYRIO, Rovigati Danilo. **Métodos e técnicas de pesquisa em administração**. Volume único. Rio de Janeiro: Fundação CECIERJ, 2009. 281 p.

ANDRADE, Josélia Maria Rodrigues de. **Sustentabilidade empresarial: um estudo exploratório nas empresas hoteleiras da região metropolitana de Natal/RN**. 2012. 143 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Contábeis) - Programa Multiinstitucional e Inter-Regional de Pós-graduação em Ciências Contábeis, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos 2019**, 2019. Disponível em: <https://abrelpe.org.br/panorama>.

BELLEN, H. M. V. Indicadores de sustentabilidade: um levantamento dos principais sistemas de avaliação. **Caderno EBAPE.BR**, v. 2, n. 1, p. 1-14, 2004.

BRASIL. Código Civil. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, nº 147, 3 ago. 2010. Seção 1, p. 3.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2008. 220 p.

JACOBI, P. R.; BESEN, G. R. **Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da**



sustentabilidade. **Estudos avançados**, v. 25, n. 71, p. 135-158, 2011.

KEMERICH, P. D. C.; RITTER, L. G.; BORBA, W. F. Indicadores de sustentabilidade ambiental: métodos e aplicações. **Revista Monografias Ambientais - REMOA**, v. 13, n. 4, p. 3718-3722, 2014.

MAY, P. H. Avaliação integrada da economia do meio ambiente: propostas conceituais e metodológicas. *In*: ROMEIRO, A. R.; REYDON, B. P.; LEONARDI, M. L. A. **Economia do meio ambiente: teoria, políticas e a gestão de espaços regionais**. Campinas: UNICAMP, 1996. 368 p.

MONTIBELLER FILHO, G. Ecodesenvolvimento e desenvolvimento sustentável; conceitos e princípios. **Textos de Economia**, v. 4, n. 1, p. 131-142, 1993.

NASCIMENTO, E. P. do. Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico. **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 51-64, 2012.

ORSIOLLI, T. A. E.; NOBRE, F. S. Empreendedorismo Sustentável e Stakeholders Fornecedores: Criação de Valores para o Desenvolvimento Sustentável. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 20, n. 4, p. 502-523, 2016.

RAUPP, F. M.; BEUREN, I. M. **Metodologia da pesquisa aplicável às ciências sociais**. *In*: BEUREN, I. M., (Ed.). Como elaborar trabalhos monográficos em contabilidade: teoria e prática. 3ª. ed. São Paulo: Atlas, 2006. p. 76-97.

SACHS, I. Estratégias de transição para o século XXI. *In*: BURSZTYN, M., (org.). Para pensar o desenvolvimento sustentável. 2 ed. São Paulo: Brasiliense, 1994. 166 p.

SICHE, R.; AGOSTINHO, F.; ORTEGA, E. ROMEIRO, A. Índices versus Indicadores: precisões conceituais na discussão da sustentabilidade de países. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v. 10, n.2, p. 137-148, 2007.

TACHIZAWA, T. **Gestão Ambiental e Responsabilidade Social Corporativa: estratégias de negócios focadas na realidade brasileira**. São Paulo: Atlas, 2010. 450 p.

ZANELLA, L. C. H. Metodologia de estudo e de pesquisa em administração. **Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração/UFSC**; Brasília: Capes, UAB, 2009. 164 p.

## QUALIFICAÇÃO DOS DEGRASTE ABRASIVO DO GRANITO ORNAMENTAL CINZA ANDORINHA COM FEIÇÕES TEXTURAIS CONSIDERADAS *DEFEITOS*

Ana P. Meyer\*<sup>1</sup>, Alice L. Ferriane<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Coordenadoria de Engenharia de Minas, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, \*e-mail: paulam@ifes.edu.br

<sup>2</sup>Graduação em Engenharia de Minas, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo.

**RESUMO:** O trabalho consiste na determinação do desgaste abrasivo Amsler do granito ornamental Cinza Andorinha explotado no município de Castelo-ES com feições texturais de mistura magma que o setor de rochas ornamentais considera como *defeitos*. As feições de mistura magmática são recorrentes nas pedreiras de rochas ornamentais situadas no pluton Castelo-ES, sendo caracterizadas como enclaves máficas de composição monzodiorítica, enclaves de biotita e venulações de biotita. A presença dessas feições nas frentes de lavra contribui para o menor aproveitamento da jazida. O objetivo do trabalho é quantificar e qualificar o desgaste abrasivo das chapas de granitos cinza com os referidos defeitos. O trabalho contemplou três conjuntos de granito Cinza Andorinha, totalizando dezenove amostras contendo venulações de biotita. Os resultados obtidos demonstraram valores de desgaste abaixo dos limítrofes estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas para rochas graníticas utilizadas como rocha ornamental e de revestimento.

**Palavras-chave:** Granito Cinza Andorinha. Desgaste abrasivo. Defeitos.

**ABSTRACT:** The present work will present the Amsler abrasive wear referring to the Cinza Andorinha ornamental granite explored in the municipality of Castelo-ES with textural features of magma mixture that the ornamental stone sector considers as a *defect*.

The features of magmatic mixture are recurrent in the quarries of ornamental rocks located in the pluton Castelo-ES, being characterized as mafic enclaves: of different textural patterns, biotite enclaves and schlieren. These features on mining fronts contributes to the lesser use of the deposit. The objective of the work is to quantify and qualify the Amsler abrasive of the gray granite slabs that present these textural features. The work included three sets of Cinza Andorinha granite, totaling nineteen samples with schlieren. The results obtained wear values below the boundaries established by the Brazilian Association of Technical Standards.

**Keywords:** Granite Cinza Andorinha. Amsler abrasive. Defects.

## 1 INTRODUÇÃO

No município de Castelo, localizado na porção sul do Espírito Santo, são explotados granitos ornamentais cinza de diferentes granulações, desde finas até porfíricas. Os granitos cinza do município de Castelo-ES são comercializados como Cinza Andorinha, Cinza Corumbá e Corumbazinho. Esses granitos estão inseridos no contexto geológicos dos plutons pós-colisionais do Orógeno Araçuai e nesses corpos ígneos, ocorre a presença de feições texturais resultantes da mistura magmática originada a partir da mistura do magma granítico crustal e o magma mantélico, que intruiu na crosta durante o relaxamento crustal pós-colisão. Nas pedreiras de rochas ornamentais instaladas na região, observa-se várias feições resultantes desse processo, tais como: enclaves máficas de composição monzodiorítica, enclaves de biotita e venulações de biotita (referenciadas pelos mineradores como *rajas*) (Figura 1, Prancha1).

As venulações são as feições que ocorrem em maior proporção abrangendo por vezes toda da frente de lavra desqualificando a estética da rocha ao ponto da extração ser abandonada (Figura 1, Prancha 1). Quando os *defeitos* não são tão evidentes, os blocos de rocha ornamental acabam sendo vendidos como blocos de segunda linha. Além das feições texturais acima referidas, nas pedreiras de granito cinza

do município de Castelo-ES encontram-se também a presença de veios, diques aplíticos e veios pegmatíticos.

No entanto, essas feições não interferem tanto no índice de aproveitamento das lavras, pois, como todo o material ornamental produzido fica no mercado interno e é destinado à produção, sobretudo, de pisos e revestimento de fachadas. Assim, as marmorarias fazem o esquadreamento das chapas retirando esses *defeitos* que são de certa forma, considerados pontuais quando comparado aos *defeitos* associados a mistura magmática. As rochas ornamentais cinza da região de Castelo- ES apresentam um ótimo desempenho com relação as propriedades tecnológicas requeridas para o emprego como rocha ornamental (OLIVEIRA, 2016; SARDOU FILHO, 2013).

Contudo, os materiais com as diferenças texturais consideradas *defeitos* são rejeitadas primeiramente por questões relacionadas a estética, não se preocupando a primeira vista, se o material descartado atenderia as questões relacionadas ao uso quando pensamos na durabilidade e funcionalidade. Sabendo que os materiais pétreos são bens minerais não renováveis e que as feições que o mercado qualifica como *defeitos*, são feições geológicas, resultado de processos de milhões de anos, raros sob o ponto de vista geológico e exclusivos, entendemos que o simples descarte desses materiais por não atendimento do padrão de estético padronizado pelo mercado é um grande equívoco. Essas feições podem ser exploradas na confecção de projetos exclusivos, valorizando seu caráter exótico e não padronizado, pois, a padronização é um conceito que deveria ser atribuído apenas aos materiais artificiais. Com o objetivo de valorização dos materiais pétreos desqualificados no setor de rochas ornamentais por apresentarem inconstâncias texturais, o trabalho apresentará os resultados de desgaste abrasivo Amsler obtidos em amostras de granito Cinza Andorinha contendo venulações de biotita. Os resultados obtidos serão comparados com os valores de referência encontrados na literatura para granitos ornamentais e com o padrão tecnológico encontrado no granito Cinza Andorinha, sem os referidos *defeitos*.

**Figura 1 - a, b, c, d, e: (a) mistura de magma granítico e monzodiorítico. (b) assimilação de minerais máficos pelo material granítico. (c) biotita disseminada e sob a forma de aglomerados. (d) veios quartzo e feldspato. (e) venulações de biotita**



Prancha 1: Diferenças texturais (*defeitos*) encontradas no Granito Cinza Andorinha.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

**1º etapa:** Coleta de chapas de granito Cinza Andorinha nas marmorarias que apresentassem *defeitos*. Entre os materiais disponibilizados para o estudo caracterizou-se como *defeitos* as venulações de biotita e presença de veios.

**2º etapa:** Preparação dos corpos de prova. Nos materiais selecionados foram confeccionados corpos de prova nas dimensões de 7,0 x 7,0 cm com no mínimo 2,0 cm

de espessura para a execução do ensaio de desgaste abrasivo, seguindo os procedimentos preconizados pela norma ABNT NBR 15844. **3º etapa:** Descrição textural detalhada das amostras submetidas ao ensaio de desgaste. Selecionou-se dezenove amostras de granito Cinza Andorinha. Essas amostras foram divididas em conjuntos de mesma feição textural descritas a seguir: **Conjunto 1:** amostras de Granito Cinza Andorinha de granulação fina com cristais de biotita disseminados (Figura 2, Prancha 2). **Conjunto 2:** amostras de Granito Cinza Andorinha de granulação média com cristais de biotita disseminados e na forma de aglomerados de até 7mm (Figura 3, Prancha 2). **Conjunto 3:** amostras de Granito Cinza Andorinha com cristais bem desenvolvidos, biotita disseminada em forma de aglomerados e presença de veios de quartzo e feldspato (Figura 4, Prancha 2); 4º etapa: Análise e comparação dos resultados obtidos.



Figura 2: Amostras de Granito Cinza Andorinha de granulação fina com cristais de biotita disseminados

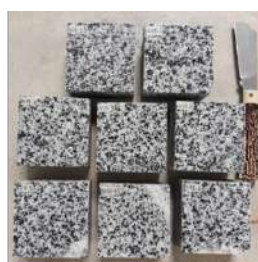


Figura 3: Amostras de Granito Cinza Andorinha de granulação média com cristais de biotita disseminados e na forma de aglomerados de até 7mm.



Figura 4: Amostras de Granito Cinza Andorinha com cristais bem desenvolvidos, biotita disseminada em forma de aglomerados e presença de veios de quartzo e feldspato.

Prancha 2: Diferenças texturais encontradas nas amostras de Granito Cinza Andorinha submetidas ao ensaio de desgaste abrasivo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O quadro 1 ilustra os resultados de desgaste Amsler obtidos nas amostras de granito Cinza Andorinha contendo feições texturais consideradas *defeitos* no comércio das rochas ornamentais. Cabe destacar que, os defeitos detectados nas chapas comercializadas acabam tendo um efeito bem diferente quando observados em peças menores como as utilizadas na execução do ensaio de desgaste Amsler. As chapas fornecidas pela marmoraria forma diagnosticadas como contendo defeitos caracterizados como venulações de biotita (“nuvens” de biotita dispersa pela rocha que proporcionam o escurecimento das chapas). Com a individualização dessa chapa em corpos de prova de dimensão 7,0 x 7,0 cm, essas feições acabam se apresentando como um granito cinza com uma coloração mais escura devido a maior concentração de biotitas e por vezes pontuações pretas de aglomerados de biotita disperso pela amostra.

**Quadro 1 - Média de leituras de espessura da rocha após ensaio de desgaste abrasivo Amsler. A média de perda de espessura é obtida a partir das leituras dos quatro cantos das amostras obtidas com o relógio medidor, conforme procedimento preconizado pela norma ABNT NBR 15844**

DEFEITO	AMOSTRA	MÉDIA 500m (Li -500m)	MÉDIA 1000m (Li-1000m)	MÉDIA EM 1000m
Cristais menores. Defeito: biotita disseminada	CAT N 12.3	0,60	0,94	0,92
	CAT N 12.4	0,57	0,96	
	CAT N 16.1	0,57	0,95	
	CAT N 16.2	0,44	0,81	
Cristais maiores. Defeito: biotita disseminada e aglomerados.	CAT N 12.2	0,39	1,02	0,78
	CAT N 9.1	0,52	0,74	
	CAT N 16.3	0,47	0,79	
	CAT N 15.1	0,42	0,59	
	CAT N 15.2	0,46	0,77	
	CAT N 14.1	0,51	0,81	
	CAT N 14.4	0,53	0,80	
CAT N 10.1	0,46	0,70		
Cristais bem desenvolvido com biotita disseminada em forma de aglomerados e presença de veios de quazto e feldspato	CAT N 10.2	0,52	1,06	1,00
	CAT N 13.2	0,58	1,02	
	CATN 14.2	0,42	0,92	
	CATN 14.3	0,58	1,11	
	CATN 14.5	0,27	0,82	
	CAT N 17.1	0,42	0,99	
CAT N 17.2	0,52	1,05		

Com relação aos veios, outro tipo de defeito observado no granito cinza Andorinha, aparece nos corpos de prova como faixas de colocação esbranquiçadas na média de 2 cm de espessura que perpassam os corpos de prova. De acordo como os resultados obtidos no ensaio de desgaste todas as amostras analisadas apresentaram valores satisfatórios, inferiores a 1 mm atendendo os requisitos estabelecidos para granitos da NBR 15845:2010.

De acordo com a proposta geral de qualificação tecnológica para rochas ornamentais e de revestimento e requisitos para uso de rochas silicáticas como pisos, segundo Chiodi e Rodrigues (2009) as amostras analisadas neste trabalho apresentaram alta resistência ao desgaste abrasivo Amsler e de acordo com os prâmetros tecnológicos sugeridos para a especificação de rochas silicáticas, as amostras analisadas apresentam valores de desgaste que permite o seu uso em ambientes de médio tráfego tanto sob a condição de pisos convencionais quanto flutuantes.

Além das comparações dos resultados obtidos nas amostras analisadas como os requisitos tecnológicos estabelecidos e sugeridos na literatura, os de desgaste abrasivo Amsler demonstrados pelas amostras de Cinza Andorinha com *defeitos* também foram comparados com resultados de desgaste abrasivo disponíveis na literatura para a rocha ornamental Cinza Andorinha sem os referidos *defeitos*. De acordo como os dados apresentados no Atlas de Rocha Ornamental do Estado do Espírito Santo (2013) e no trabalho de monografia de Oliveira (2012), o granito Cinza Andorinha é caracterizado como um material de desgaste de 1,0 mm e 1,3 mm, respectivamente.

Comparando o desgaste abrasivo apresentados na literatura para o granito Cinza Andorinha com os resultados obtidos nas amostras estudadas, nota-se que os valores adquiridos estão em conformidade com o estabelecido para o material ornamental desprovido de *defeitos*.

Os resultados obtidos para os três conjuntos de amostras estudadas também foram comparados entre si. O conjunto de amostras testadas que apresentou maior desgaste abrasivo foi o das amostras contendo cristais de biotita disseminados e sob a forma de aglomerados contendo a presença de veios (1,0 mm) (Tabela 1). Esse maior



desgaste é favorecido pelo maior desenvolvimento dos cristais relacionados na amostra, pois quanto maiores os cristais, maior a superfície de contato como a situação de abrasividade, como os corpos de prova apresentam cristais de biotita bem desenvolvidos, sendo estes frágeis a situação abrasiva acabam que favorecendo no desgaste das amostras. Outra questão a ser levantada é que nessas amostras a quantidade de quartzo e feldspato (minerais de dureza elevada 6 e 7 na escala de Mohs) são bem mais expressivas que nas demais amostras analisadas, no entanto, isso não contribuiu para o menor desgaste das amostras. Destacamos que as medições de perda de espessura das amostras durante o ensaio são realizadas a partir do uso de relógio medidor (preconizado pela norma) e nesse procedimento mede-se apenas os cantos dos corpos de prova, sendo assim uma leitura pontual, que no caso das amostras analisadas, as concentrações de quartzo e feldspatos encontram-se em sua maioria fora da área medida como observado na Figura 4 da Prancha 2.

Os menores valores de desgaste abrasivo foram registrados no conjunto de amostras de cristais bem desenvolvidos (0,78 mm) (Tabela 1), porém sem a presença de veios, contendo como *defeitos* apenas biotitas disseminadas e sob a forma de aglomerados, com alguns cantos contendo a presença de cristas e quartzo e feldspato. Essa ocorrência pode ter influenciado no resultado, uma vez que as dimensões dos cristais são muito próximas ao conjunto de amostras analisadas que apresentaram maior desgaste.

Valor intermediário de desgaste abrasivo foi registrado nas amostras de granulação mais fina contendo como *defeito* cristais de biotita disseminados (0,92 mm). Comparando as amostras do conjunto 1 como o conjunto 2 as texturas observadas são muito próximas, a diferença registrada entre esses dois conjuntos fundamenta-se basicamente no tamanho da granulação dos minerais existentes, já que a composição é a mesma. Dessa forma a fato dos cristais de biotita estarem mais desenvolvidos no conjunto 2 favorece o maior desgaste dessas amostras.

#### 4 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos no trabalho, verifica-se que os defeitos atribuídos aos granitos Cinza Andorinha explorados no município de Castelo-ES, estão atreladas a questões estéticas convencionadas pelo setor. As amostras analisadas não apresentaram resultados de desgaste abrasivo que as desqualifiquem para uso de revestimento como pisos.

Cabe destacar ainda que, os aspectos considerados *defeitos* no granito Cinza Andorinha de Castelo-ES, são feições geológicas exclusivas de mistura magmática ocorrida durante a colocação de magma mantélico na crosta, sendo esse processo uma assinatura genética dessa rocha. Essas feições poderiam ser evocadas pelo setor comercial como um diferencial do material natural valorizando suas particularidades, sendo este um fator competitivo diante dos materiais artificiais padronizados.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos a empresa Talismã Pedras Ltda. pelo fornecimento de amostras que possibilitaram o estudo.

#### 6 REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15844**: Rochas para revestimento – Requisitos para granitos. 2 p., 2010.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 158452010**: Rochas para revestimento Métodos de ensaio. São Paulo, 2010.

CHIODI FILHO, C.; RODRIGUES, E de P. Guia de aplicação de Rochas em Revestimento. São Paulo: ABIROCHAS2008.

OLIVEIRA, Núbia Ponce Leão de. **Avaliação das propriedades tecnológicas das rochas ornamentais cinza andorinha e cinza corumbá exploradas no município de Castelo-ES**. 2016. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Minas) - Instituto Federal do Espírito Santo, Cachoeiro de Itapemirim, 2016.



SARDOU FILHO, R.; MATOS, G. M.; MENDES, V. A.; IZA, E. R. H. de F. **Atlas de rochas ornamentais do estado do Espírito Santo**. Brasília: CPRM, 2013. 358 p.

WIEDEMANN-LEONARDOS, C. M.; LUDKA, I. P.; MEDEIROS, S. R.; MENDES, J. C.; COSTA-DE-MOURA, J. Arquitetura de plutons zonados da Faixa Araçuaí-Ribeira. **Geonomos**, v. 15, n. 1, p. 25–38, 2000.

## SÍNTESE DE QUITOSANA SULFATADA PARA ADSORÇÃO DE $\text{Cu}^{+2}$

Micaele F. Lima\*<sup>1</sup>, Flavia O. M. S. Abreu<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologias, \*e-mail: micaele.lima@aluno.uece.br.

**RESUMO:** A quitosana é um polissacarídeo que possui grupamentos amina e hidroxila livre, sendo essa considerada um bom material adsorvente de metais pesados em águas. Algumas modificações estruturais têm sido propostas a fim de aumentar a capacidade adsorptiva deste polissacarídeo. O objetivo deste trabalho foi modificar por sulfatação a estrutura da quitosana e da carboximetilquitosana, caracterizar os materiais sintetizados através de rendimento e por FT-IR e avaliar a capacidade adsorvente dos materiais frente a íons cobre. Os resultados mostraram que o rendimento da síntese dos materiais variou de 58% a 91%, e foi possível identificar através de FT-IR os grupos funcionais C-O-S e S=O referentes à inserção dos grupos sulfatos, identificando a presença dos grupos sulfato na estrutura. Nos ensaios de adsorção, as amostras sulfatadas apresentaram um percentual de adsorção acima de 90% de cobre, um desempenho superior à quitosana pura (%). A capacidade adsorptiva foi de 63 mg/g, comparável aos resultados da literatura. Desta forma, observou-se que a sulfatação é uma rota viável de modificação para a adsorção de metais.

**Palavras-chave:** Adsorção. Sulfatação. Cobre.

**ABSTRACT:** Chitosan is a polysaccharide that has free amine and hydroxyl groups, which is considered a good adsorbent material for heavy metals in water. Some structural modifications have been proposed in order to increase the adsorptive capacity of this polysaccharide. The objective of this work was to modify the structure of chitosan and carboxymethyl chitosan by sulfation, to characterize the materials synthesized through

yield and by FT-IR and to evaluate the adsorbent capacity of the materials against copper ions. The results showed that the yield of the synthesis of the materials varied from 58% to 91%, and it was possible to identify through FT-IR the functional groups COS and S = O referring to the insertion of the sulfate groups, identifying the presence of the sulfate groups in the structure. In the adsorption tests, the sulfated samples showed an adsorption percentage above 90% copper, a performance superior to pure chitosan (%). The adsorptive capacity was 63 mg/g, comparable to the results of the literature. Thus, it was observed that sulfation is a viable modification route for the adsorption of metals.

**Keywords:** Adsorption. Sulfation. Copper.

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos mais essenciais para a vida na terra, onde tem sido reportados estudos e pesquisas sobre métodos sustentáveis para aumentar a qualidade da água doce através da descontaminação dos leitos de água, existem diversos meios de descontaminação sendo adsorção é uma das propostas que apresenta grandes vantagens, pois consegue remover tanto poluentes orgânicos como poluentes inorgânicos e, além disso, a mesma produz uma baixa quantidade de resíduo (DESBRIERES; GUIBAL, 2018). Dentre os materiais adsorventes, os polissacarídeos têm se destacado, pois além de possuir uma alta eficiência, são também materiais economicamente viáveis, biocompatíveis, biodegradáveis e atóxicos (FUTALAN *et al.*, 2011).

A quitosana é um polissacarídeo derivado da quitina, encontrado em grande abundância na natureza em carapaças de crustáceos que apresentam bom potencial adsorativo. Nos últimos anos, tem se proposto realizar modificações na estrutura da quitosana a fim de aumentar sua capacidade adsorativa, pois a mesma possui os grupamentos amina e hidroxila livres o que facilita a entrada de novos grupamentos (MORAES *et al.*, 2019). A sulfatação é uma modificação utilizada que deixa a estrutura

dos polissacarídeos com uma alta carga superficial negativa, o que facilita sua ação adsorvente através de mecanismo de complexação com íons metálicos (MORAES, 2019).

O cobre é um metal pesado muito utilizado na indústria de eletrodeposição por sua alta condutividade e um dos componentes de alguns fungicidas. Em decorrência de suas aplicabilidades, em virtude de manejo ou descarte inadequado pode ser encontrado como poluente em altas concentrações no solo e na água (ANDREAZZA *et al.*, 2010). Assim o objetivo deste trabalho foi desenvolver derivados funcionais sulfatados a partir da quitosana e da carboximetilquitosana, a fim de testar sua capacidade adsorvente frente ao cobre.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Utilizou-se dos materiais quitosana (Polymar), ácido acético (Dinâmica), ácido monocloroacético (Dinâmica), hidróxido de sódio (Cromoline), álcool isopropílico (Neon), álcool metílico (Neon), bissulfito de sódio (Synth), nitrito de sódio (Synth) e sulfato de sódio (Vetec).

### 2.2 Síntese da quitosana sulfatada

Realizou-se dois tipos de reação de sulfatação na quitosana original (QT) e na quitosana carboximetilada; A carboximetilquitosana (QTC) foi sintetizada em trabalho anterior conforme metodologia descrita em Abreu (2009). No primeiro método de sulfatação, utilizou-se um agente sulfatante onde se adicionou em uma solução de  $\text{NaHSO}_4$  5% m/v, 10 mL de uma solução de  $\text{NaNO}_2$  3,1% m/v. A mistura, que atuará como agente surfactante, foi agitada por 90 min a 60 °C.

Corrigiu-se o pH da solução para 9,0 através de NaOH ou HCl. Em seguida, adicionou-se ao agente sulfatante, 0,5 g de QT ou QTC, deixando-a em agitação magnética por 4h a 40 °C. Por fim, centrifugou-se e descartou-se o sobrenadante e o precipitado foi lavado com água destilada e seco a 60°C em estufa. No segundo método de sulfatação utilizou-se o sulfato de sódio. Adicionou-se 3 g de quitosana ou carboximetilquitosana a 100 mL de ácido acético 3% e deixou-se em agitação até homogeneizar. Adicionou-se a solução 100 mL de sulfato de sódio 4% sob agitação por 90 min. Depois centrifugou-se a 4000 rpm, lavou-se e liofilizou-se o precipitado.

### 2.3 Caracterizações e ensaios

Foram sintetizados quatro tipos de materiais bioadsorventes e estes derivados funcionais foram caracterizados por espectroscopia no infravermelho (espectrofotômetro modelo Nicolet IS5 da Thermo Scientific com pastilhas de KBr) para avaliação de grupamentos funcionais, bem como para a indicação da reação de síntese. Avaliou-se o rendimento de cada derivativo produzido através da relação entre a massa inicial de quitosana e a massa do produto final após as reações.

Para os estudos de adsorção, pesou-se cerca de 0,3 g de cada amostra e colocou-se em 40 mL de solução de sulfato de cobre 0,3 mol/L. Após 24h foi retirado uma alíquota em duplicata e o cobre remanescente na solução foi determinado por titulação utilizando EDTA 0,0100 Mol/L, utilizando a Equação 1:

$$q = (n_i - n_f) / m \quad (1)$$

Onde: q é a capacidade adsorptiva, ni é o número de mols inicial, nf o número de mols final e m a massa de amostra utilizada.

### 3 Resultados e Discussão

#### 3.1 Caracterizações

Foram produzidos dois derivados sulfatados de quitosana, a quitosana sulfatada com agente sulfatante (QTS) e a sulfatada com sulfato de sódio (QTSNa). Também foram produzidos derivados sulfatados de carboximetil-quitosana, a Carboximetilquitosana sulfatada com agente sulfatante (QTCS) e a sulfatada com Sulfato de sódio (QTCSNa).

O rendimento percentual em massa dos derivados funcionais foi determinado a fim de analisar a viabilidade de cada processo e a sua relação custo-benefício, cujos valores constam na Tabela 1. Observa-se que os derivados diretos da quitosana obtiveram um maior rendimento em relação aos derivados da carboximetilquitosana, no qual a QTS e a QTSNa tiveram um rendimento superior a 89%, indicando que são processos viáveis e que possuem uma ótima relação custo-benefício, pois é um processo realizado em menos etapas, portanto com menor custo e com alto rendimento.

Já os derivados sulfatados da carboximetilquitosana obtiveram rendimentos de 68% para a QTCS e 58% para a QTCSNa, onde as perdas ocorrem devido ao processo envolver várias etapas, suscetível à mais perdas em cada etapa de lavagem e purificação. A Figura 1 contém os espectros da QT e de todos os derivativos sulfatados.

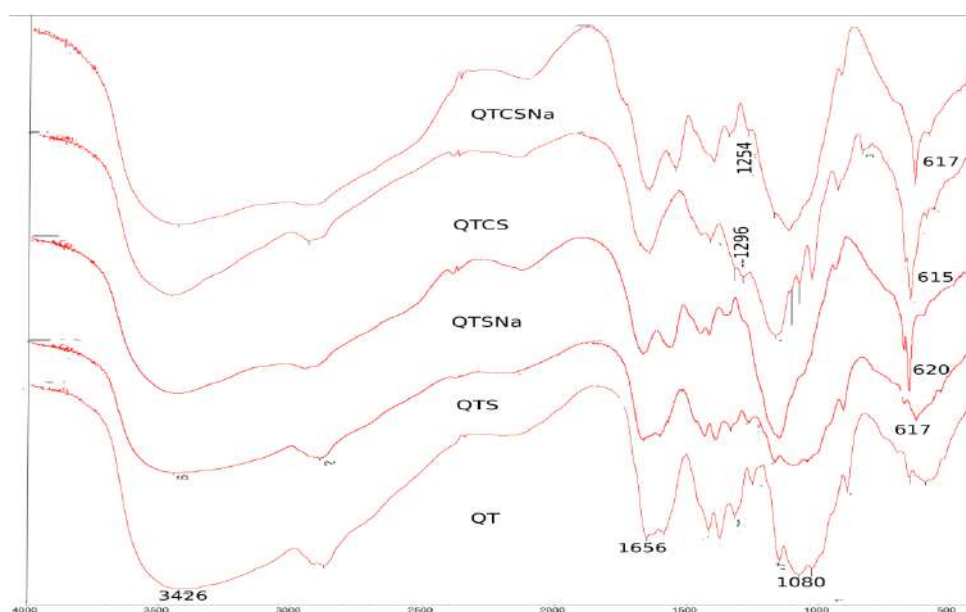
No espectro da QT é possível observar seus picos característicos, onde observa-se uma banda larga na região de  $3426\text{ cm}^{-1}$  referente ao estiramento O-H e na mesma região está sobreposto o pico referente ao estiramento N-H, tem-se também os picos na região de  $1656\text{ cm}^{-1}$  referente à ligação C=O e em  $1080\text{ cm}^{-1}$  referente ao estiramento C-O.

Já nos derivados sulfatados da quitosana e da carboximetilquitosana é possível de observar além dos picos característicos da QT, a presença de bandas referente a entrada dos grupamentos sulfato em aproximadamente em  $617\text{ cm}^{-1}$ , referente ao estiramento C-O-S, presente em todos os derivativos. Nas amostras QTCS



e QTCSNa observa-se também o pico na região de aproximadamente  $1254\text{ cm}^{-1}$  referente ao estiramento S=O. Assim comprovou-se que os grupamentos sulfato foram inseridos com sucesso na estrutura da quitosana.

**Figura 1 - Espectro de FTIR da quitosana (QT), QT sulfatada com agente sulfatante (QTS), QT sulfatada com sulfato de sódio (QTSNa), carboximetilquitosana sulfatada com agente sulfatante (QTCS) e carboximetilquitosana sulfatada com sulfato de sódio (QTCSNa)**



### 3.2 Estudos de adsorção

A inserção dos grupamentos sulfatos na estrutura química da QT fazem com que a superfície do material possua uma alta densidade de carga negativa, favorecendo assim a adsorção de metais visto que possuem carga positiva (MORAES, 2019). Nesse estudo, todas as amostras analisadas obtiveram um percentual de remoção superior a 97% como se pode observar na Tabela 1.

**Tabela 1 - Rendimento dos derivativos, capacidade adsortiva e percentual de adsorção de íons cobre**

Amostra	Rendimento (%)	Capacidade adsortiva (mg/g)	percentual de adsorção (%)
QT	-----	64,98±0,0094	97,83±0,0014
QTS	91,4	64,08±0,2079	98,17±0,3185
QTSNa	89,0	64,42±0,0234	97,47±0,0352
QTCS	68,4	64,15±0,0507	98,53±0,0778
QTCSNa	57,4	63,76±0,0673	97,16±0,1026

Legenda: Quitosana sulfatada com agente sulfatante (QTS); Quitosana sulfatada com sulfato de sódio (QTSNa); Carboximetilquitosana sulfatada com agente sulfatante (QTCS) e sulfatada com Sulfato de sódio (QTCSNa).

Em relação à capacidade adsortiva dos materiais, todos apresentaram com valores muito próximos de 65 mg/g em relação ao cobre, mostrando assim uma alta eficiência frente a esse material. As amostras de QT sulfatada obtiveram um resultado similar à quitosana pura, com a vantagem de apresentar insolubilidade em todos os pHs, tornando a remoção do material da solução após adsorção mais facilitada. A QT pura, apesar de ter excelente capacidade adsortiva, sua solubilidade em pH ácido inviabiliza seu uso como material adsorvente para remoção dos metais em efluentes industriais, usualmente dotados de acidez. Observa-se que os valores de capacidade adsortiva são superiores aos reportados na literatura.

Em outro estudo, quitosana imobilizada com bentonita apresentou uma capacidade de adsorção de 26 mg/g de cobre (FUTALAN *et al.*, 2011), um valor bem inferior ao reportado neste estudo. Assim tem-se dois produtos mais promissores o QTS e o QTSNa, porém o QTSNa é feito por uma metodologia de menor custo e a reação ocorre mais rapidamente, se constituindo em um melhor custo-benefício.

#### 4 CONCLUSÕES

Buscou-se modificar a estrutura da quitosana por meio de dois métodos de sulfatação visando a ampliação de algumas de suas propriedades. Sintetizando assim 4 materiais diferentes, QTS, QTCS, QTSNa e QTCSNa. Onde todos obtiveram um potencial de adsorção de cobre de semelhante, em torno de 97% e com uma capacidade adsorptiva superior a 60 mg/g de cobre. Assim a síntese dos derivados ocorreu com sucesso, onde todos os materiais apresentaram uma capacidade adsorptiva equivalente e elevada e o derivativo que apresentou melhor custo-benefício foi o QTSNa.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Laboratório de Química dos Produtos naturais pela realização das análises de FT-IR.

#### 6 REFERÊNCIAS

ABREU, F. O. M. S.; BIANCHINI, C.; KIST, T. B. L.; FORTE, M. M. C. Preparation and properties of core-shell alginate-carboxymethylchitosan hydrogels. **Polymer international**, v. 58, n. 11, p. 1267-1274, 2009.

ANDREAZZA, R.; OKEKE, B. C.; LAMBAIS M. R.; BORTOLON L.; MELO, G. W. B.; CAMARGO, F. A. O. Bacterial stimulation of copper phytoaccumulation by bioaugmentation with rhizosphere bacteria. **Chemosphere**, v. 81, n. 9, p.1149-1154, 2010.

ARAMWIT, P.; YAMDECH, R.; AMPAWONG, S. Controlled release of chitosan and sericin from the microspheres-embedded wound dressing for the prolonged anti-microbial and wound healing efficacy. **The AAPS journal**, v. 18, n. 3, p. 647-658, 2016.

DESBRIÈRES, J.; GUIBAL, E. Chitosan for wastewater treatment. **Polymer International**, v. 67, n. 1, p. 7-14, 2018.

MORAES, A. F.; MOREIRA FILHO, R. N. F.; PASSOS, C. C. O.; CUNHA, A. P.; SILVA, L. M. A.; FREITAS, L. B. N.; VASCONCELOS, N. F.; RICARDO, N. M. P. S.; CANUTO, P. S.; ROSA, M. F.; LEAL, L. K. A. M.; VIEIRA, R.S. Hemocompatibility of 2-N-3, 6-O-sulfated chitosan films. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 136, n.9, p. 47128, 2019.

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE NANOEMULSÕES POLIMÉRICAS DE GOMA XANTANA E GOMA ARÁBICA ENCAPSULANTES DE ÓLEO ESSENCIAL DE *EUCALYPTUS CITRIODORA***

**Henety N. Pinheiro\*<sup>1</sup>, Emanuela F. Costa<sup>2</sup>, Sávio N. Alcantara<sup>1</sup>, Flávia O. M. S. Abreu<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Graduação em Química, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciência e Tecnologia, e-mail: henety.pinheiro@aluno.uece.br

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação de Ciências Naturais, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciência e Tecnologia.

**RESUMO:** Nanoemulsões óleo em água são sistemas de administração de fármacos que consistem na formação de partículas anfipáticas para encapsulamento de moléculas oleosas. Neste trabalho desenvolveu-se Nanoemulsões de goma xantana e goma arábica com óleo de *Eucalyptus citriodora* através da técnica de alta energia, onde variou-se o tipo de matriz, o teor de surfactante e o teor de óleo essencial a fim de produzir formulações estáveis. As nanoemulsões foram avaliadas em relação às suas características físico-químicas: estabilidade macroscópica, Viscosidade e tamanho de partícula. As viscosidades das formulações corroboraram os resultados de tamanho de partícula, onde apresentaram um aumento da viscosidade em função do tamanho. O estudo realizado demonstrou que as amostras que possuíam as menores proporções, goma/óleo de 1:1 e surfactante/óleo de 1:2, apresentaram melhores resultados na formação de micelas nanométricas. Essas variações nas composições mostram como a quantidade de surfactante, de fase oleosa e do polímero natural influenciam no desenvolvimento do sistema coloidal. Com tais resultados pode-se mostrar a influência da goma arábica (100 mg) e goma xantana (100 mg), tween 80 (50 mg) e do óleo (100 mg) na estabilidade das formulações E1-GA e E2-GX, e o potencial uso em uma formulação de liberação controlada na administração farmacológica do óleo de

*Eucalyptus citriodora*.

**Palavras-chave:** Nanoemulsões. Encapsulamento. Tamanho de Partícula.

**ABSTRACT:** Oil-in-water nanoemulsions are drug delivery systems that consist of the formation of amphipathic particles for encapsulating oil molecules. In this work, Nanoemulsions of xanthan gum and gum arabic were developed with *E. citriodora* oil using the high energy technique, where the matrix type, the surfactant content and the essential oil content were varied in order to produce stable formulations. Nanoemulsions were evaluated in relation to their physical and chemical characteristics: macroscopic stability, viscosity and particle size. The viscosities of the formulations corroborated the results of particle size, where they showed an increase in viscosity as a function of size. The study showed that the samples that had the lowest proportions, gum / oil of 1: 1 and surfactant / oil of 1: 2, showed better results in the formation of nanometric micelles. These variations in the compositions show how the amount of surfactant, oil phase and natural polymer influences the development of the colloidal system. With these results, it is possible to show the influence of gum arabic (100 mg) and xanthan gum (100 mg), tween 80 (50 mg) and oil (100 mg) on the stability of formulations E1-GA and E2-GX, and the potential use in a controlled release formulation in the pharmacological administration of *Eucalyptus citriodora* oil.

**Keywords:** Nanoemulsions. Encapsulation. Particle size.

## 1 INTRODUÇÃO

As Nanoemulsões (NEs) são sistemas de administração de fármacos que consistem em sistemas emulsionados de óleo e água, com diâmetros médios de gotículas variando de 10 a 1000 nm (JAISWAL *et al.*, 2015). As NEs contendo matrizes poliméricas se destacam entre os possíveis sistemas de encapsulamento devido à sua

característica anfótera, alta permeabilidade à água, biocompatibilidade e viscosidade (BRUXEL *et al.*, 2012). A fim de melhorar a biocompatibilidade e do sistema de liberação, há uma tendência a usar polímeros naturais.

A Goma Xantana (GX) é um polissacarídeo solúvel em água muito usado na área de engenharia de alimentos como espessante, o que pode contribuir para produção de emulsões estáveis e palatáveis com atividade antimicrobiana (BORGES; VENDRUSCOLO, 2008). A Goma Arábica (GA) é um polissacarídeo anfílico bastante utilizado na indústria alimentícia. As partículas de GA se adsorvem à superfície das gotículas de óleo formadas na homogeneização, onde formam uma espécie de camada interfacial espessa e eletricamente negativa em torno das gotículas que as estabiliza contra a agregação por impedimento estérico e interações eletrostáticas (CHANAMAI, 2002).

O princípio ativo de interesse é o óleo essencial de *Eucalyptus citriodora* (OEEC), que é uma das espécies de eucalipto que tem sido aplicado em antissépticos, antipiréticos e analgésicos há tempos. O OEEC é um produto natural com variadas propriedades biológicas. É uma das espécies mais utilizadas nas indústrias de cosméticos, alimentícia e farmacêutica. Estudos anteriores demonstraram que o OEEC possui propriedades antibacterianas, antifúngicas, inseticida, acaricida, anti-tripanosoma e herbicida (BATISH *et al.*, 2008). Neste trabalho é proposto o desenvolvimento de NEs polissacarídicas, óleo em água, à base de GX e GA e avaliação da estabilidade e das características físicas e químicas de cada sistema para veiculação de OEEC.

## 2 Materiais e Métodos

### 2.1 Preparação das nanoemulsões óleo em água.

As formulações de Nanoemulsões foram desenvolvidas pelo método de Alta energia, no equipamento (Ultrastirrer) a 10.000 rpm por 5 minutos. A fase oleosa,

representada pelo OEEC, foi adicionado ao tensoativo (Tween 80) e homogeneizada por agitação manual, previamente aquecidos a 70°C. Em seguida a fase oleosa foi adicionada a fase aquosa (Solução polimérica) para homogeneização em 25 °C, obtendo a formulações descritas na Figura 1.

**Figura 1 – Concentração de constituintes no preparo das formulações**

	E1-GA	E2-GX	E3-GA	E4-GX	E5-GA	E6-GX	E7-GA	E8-GX
Goma (g/L)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
OEEC (g/L)	1,00	1,00	1,00	1,00	0,33	0,33	0,33	0,33
Tween80 (g/L)	0,50	0,50	1,00	1,00	0,17	0,17	0,33	0,33

## 2.2 Estudo de estabilidade

Foram avaliados sinais de instabilidade durante 90 dias após o preparo das formulações, se haviam sinais de cremeação ou separação de fases. Para avaliar a Viscosidade foi realizado por método manual, utilizando um Viscosímetro de Ostwald, em temperatura ambiente, cronometrando-se o tempo de escoamento e obtida obedecendo a Equação 1:

$$\eta \text{ (viscosidade)} = \frac{T \text{ (tempo de escoamento da amostra)}}{T_0 \text{ (tempode escoamento do solvente)}} \quad (1)$$

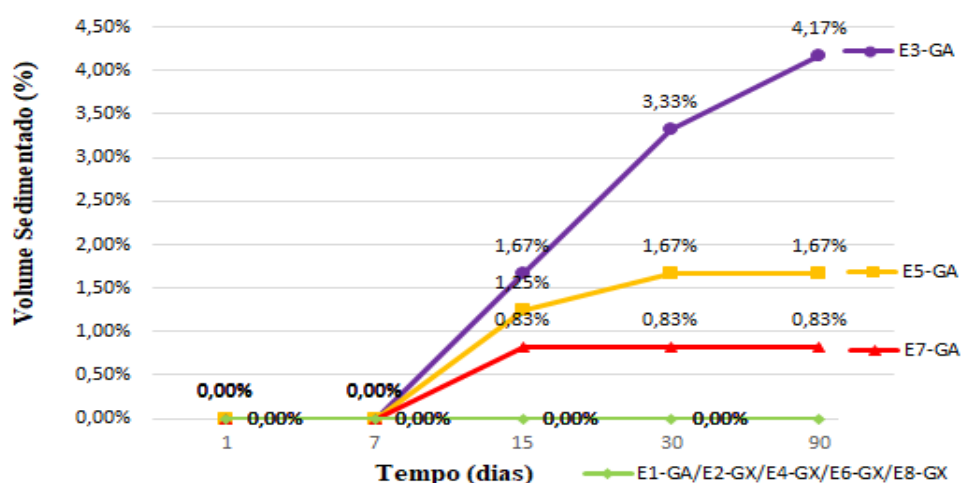
## 2.3 Tamanho de partículas

Para identificar o diâmetro das partículas, os experimentos foram realizados usando o aparelho Zetasizer/Nanoseries Z590 (MALVERN). As amostras foram diluídas em água destilada, formando soluções em concentrações de 0,1% (m/v) e deixadas em agitação magnética por 24 horas.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os efeitos macroscópicos de estabilidade das Nanoemulsões foram observados em intervalos de tempo de 24 horas, 7, 15, 30 e 90 dias, onde foi possível observar, com 15 dias de armazenamento, fenômenos de sedimentação nas amostras E3-GA, E5-GA, E7-GA. No entanto a emulsão E1-GA, também com GA e E2-GX, E4-GX, E6-GX e E8-GX contendo GX apresentaram estabilidade macroscópica durante os 90 dias de observação. Os percentuais de sedimentação encontrados nas amostras, em relação com o tempo de armazenamento, estão dispostos na Figura 2.

**Figura 2 – Percentuais de sedimentação num intervalo de 1, 7, 15, 30 e 90 dias**

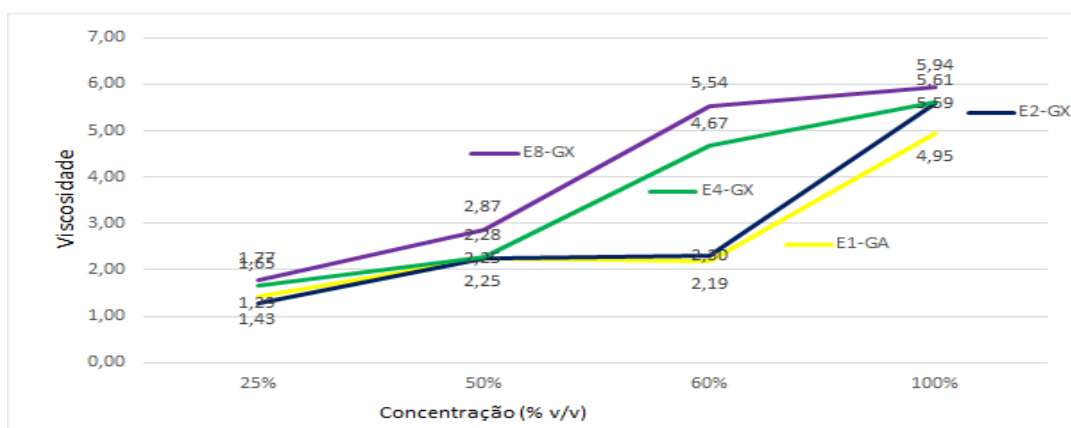


Krstonošić *et al.* (2015), constataram que a presença de GX em emulsões com anidrido octenil succinico, em concentrações acima de 0,08% em massa, evitava a ocorrência de *creaming*, em até 15 dias. Com base nos resultados de estabilidade física das amostras, foi separado as melhores emulsões, para os testes de viscosidade em função do grau de diluição. A Figura 3 ilustra os valores médios das viscosidades relativas de cada emulsão em função da concentração da solução. A partir desses dados, é possível verificar que as amostras contendo GX apresenta viscosidades maiores.



Dados da literatura corroboram esse resultado devido ao comportamento de pseudoplástico, o que pode estar relacionado diretamente como o tamanho das partículas que cada sistema apresenta, onde partículas maiores resistem ao escoamento do fluido (LOVELYN; ATTAMA, 2011).

**Figura 3 - Viscosidade relativa das formulações em concentrações de 25%, 50%, 60% e 100%**

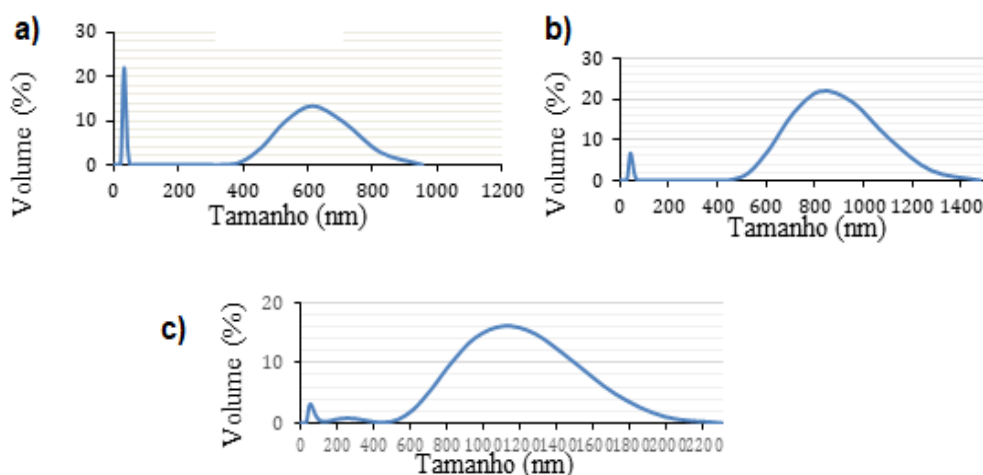


### 3.1 Tamanho de partícula

O tamanho de partícula foi investigado para as emulsões mais estáveis, como pode-se observar os padrões de distribuição de tamanho na Figura 4. Verificou-se distribuição bimodal, onde a E1-GA (Figura 4 (a)) apresenta os menores tamanhos de partículas, com um volume maior de partículas menores que 100nm e uma menor porção de partículas com tamanho médio de 650 nm, caracterizando uma nanoemulsão estável em termos de tamanho das micelas. Já na E2-GX, representado na Figura 4 (b), um volume menor é de partículas menores que 100nm e um volume maior de partículas microscópicas de tamanho médio de 850 nm, possivelmente formado por agregação ou coalescência de partículas menores. A Figura 4 (c) ilustra apenas uma pequena fração

de partículas manométricas, com tamanho inferior a 400 nm, havendo uma grande fração de partículas micrométricas com tamanho médio de 1100 nm, possivelmente formado por coalescência ou aglomeração de partículas.

**Figura 4 –Tamanho de partícula: E1-GA (a), E2-GX (b), E8-GX (c)**



#### 4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, o desenvolvimento de nanoemulsões de maior estabilidade e de menor tamanho de partícula, é mais favorável para utilização farmacêutica, as ocorrências dessas características fizeram-se presentes especialmente nas emulsões E1-GA e E2-GX, onde na primeira utiliza-se goma arábica e proporção de constituinte goma/óleo de 1:1 (1,0 g/L:1 g/L) e surfactante/óleo de 1:2 (0,5 g/L:1,0 g/L) em massa.

Das emulsões onde utilizou-se GX, a E2-GX obteve melhores resultados para aplicação em sistemas de liberação controlada pois apresentou um considerável volume de partículas nanométricas, ou seja, menores de 1000 nm, sendo viável para aplicação em sistemas de administração por via oral. Em contrapartida a emulsão E8-GX, com GX

e proporção goma/óleo de 3:1 (1,0 g/L:0,33 g/L) e surfactante/óleo de 1:1 (0,33 g/L:0,33 g/L), apresentou a maior parte das partículas em tamanhos micrométricos.

O estudo mostrou que formulações contendo menores proporções de surfactante e óleo apresentaram tamanhos maiores de partícula, constatando a importância da utilização de surfactantes sintéticos para a estabilização das formulações, juntamente com os polímeros naturais.

## 5 AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa para essa pesquisa, e ao Laboratório de Química Analítica e Química Ambiental (LAQAM), pela realização desse trabalho.

## 6 REFERÊNCIAS

BATISH, D. R.; SINGH, H. P.; KOHLI, R. K.; KAUR, S. Eucalyptus essential oil as a natural pesticide. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 12, p. 2166-2174, 2008.

BORGES, C. D.; VENDRUSCOLO, C. T. Goma Xantana: características e condições operacionais de produção. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 29, n. 2, p. 171-188, 2008.

BRUXEL, F.; LAUX, M.; WILD, L. B.; FRAGA, M.; KOESTER, L. S.; TEIXEIRA, H. F. Nanoemulsões como sistemas de liberação parenteral de fármacos. **Química Nova**, v. 35, n. 9, p. 1827-1840, 2012.

CHANAMAI, R. A. D. J. M. Comparison of gum arabic, modified starch, and whey protein isolate as emulsifiers: influence of pH, CaCl<sub>2</sub> and temperature. **Journal of Food Science**, v. 67, n. 1, p. 120-125, 2002.

JAIWAL, M.; DUDHE, R.; SHARMA, P. K. Nanoemulsion: an advanced mode of drug delivery system. **3 Biotech**, v. 5, n. 2, p. 123-127, 2015.

KRSTONOŠIĆ, V.; DOKIĆ, L.; NIKOLIĆ, I.; MILANOVIĆ, M. Influence of xanthan gum on oil-in-water emulsion characteristics stabilized by OSA starch. **Food Hydrocolloids**, v. 45, p. 9-17, 2015.

LOVELYN, C.; ATTAMA, A. A. Current state of nanoemulsions in drug delivery. **Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology**, v. 2, n. 5, p. 626-639, 2011.

## UP-CYCLING GLYCERIN AND VINASSE BY MEANS OF MICROALGAE CULTIVATION – MINIREVIEW

Gabriele R. Conceição\*<sup>1</sup>, Fabio A. Chinalia<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Biotechnology Post-Graduation Program (Northeast Network in Biotechnology), Health Science Institute, Federal University of Bahia, \*e-mail: gabi.rodrigues29@hotmail.com.

<sup>2</sup>Health Science Institute, Federal University of Bahia.

**RESUMO:** Em 2019, o setor de biocombustíveis biodiesel/etanol geraram os subprodutos glicerol e vinhaça em quantidades expressivas (476 milhões e 466 bilhões de litros, respectivamente). Portanto, é necessário reutilizar ou tratar esses produtos para reduzir os seus impactos ambientais. Utilizá-los para dar suporte ao cultivo de microalgas é uma maneira sustentável de valoração e tratamento desses resíduos. O objetivo desse trabalho é sistematizar os artigos científicos que relatam a utilização dessas substâncias para o cultivo de microalgas e, conseqüentemente, o tipo de bioprodutos algal obtido. O glicerol pode ser utilizado como uma fonte de carbono em crescimento algal mixotrófico e, por isso, pode aumentar a produção de biomassa. O mesmo processo pode acontecer com várias substâncias de pequeno peso molecular presente na vinhaça, mas, a concentração de nitrogênio e fosforo é que tornam esse efluente atraente para o processo de cultivo algal. Embora existam trabalhos científicos descrevendo a utilização dessas substâncias para o crescimento algal, esse trabalho destaca que estes variam significativamente de acordo com os relatos de operação do sistema de cultivo.

**Palavras-chave:** Microalgas. Glicerina. Vinhaça.

**ABSTRACT:** In 2019, the biodiesel / ethanol biofuels sector generated glycerol and vinasse by-products in significant quantities (476 million and 466 billion liters, respectively). Therefore, it is necessary to reuse or treat these products to reduce their

environmental impacts. Using them to support the cultivation of microalgae is a sustainable way of valuing and treating these residues. The objective of this work is to systematize the scientific articles that report their use for the cultivation of microalgae and, consequently, the type of algal bioproducts obtained. Glycerol can be used as a source of carbon in algal myxotrophic growth and, therefore, it can increase algal biomass production. The same process can happen with several small molecular weight substances present in the vinasse, but the concentration of nitrogen and phosphorus is what makes it attractive for the algal cultivation process. Although there are scientific studies describing the use of these substances for algal growth, this work highlights that they vary significantly according to the reports of operation of the cultivation system.

**Keywords:** Microalgae. Glycerin. Vinasse.

## 1 INTRODUCTION

The estimated global consumption of fresh water in 2014 was of 3700 billion m<sup>3</sup> (DINIZ *et al.*, 2017). Most of it was converted into wastewater by industrial activity. The industrial activities best known for contaminating surface waters with effluents are those carried out by the biofuel, sugar-cane, textile, paper and cellulose industries (LV *et al.*, 2017; RAMLOW *et al.*, 2017). These effluents contaminate surface waters with excessive amounts of nitrogen and phosphorus, which increases the eutrophication and hinder ecosystem processes (GODFRAY *et al.*, 2010; MORÉE *et al.*, 2013).

On the other hand, several nitrogen and phosphorus compounds can be used for the cultivation of microalgae. Microalgae are single-celled microorganisms, usually found in salt and fresh water (MOBIN *et al.*, 2019) and known for fixing atmospheric carbon with the production of oxygen (METZ *et al.*, 2007). For these reasons, they have an important role in the carbon cycling (BOROWITZKA, 1998). They are present in all existing ecosystems, representing a wide variety of species living in a wide range of environmental conditions. Therefore, there are species of microalgae capable of growing

in industrial effluents with the advantage of accelerating their bioremediation process. In this way, such effluents become an inexpensive culture medium and can be used on a large scale; reducing the costs of the algal culture system (PIENKOS; DARZINS, 2009).

Algal cultivation not only assists in the treatment of effluents, but it can generate valuable bioproducts. Algae are already used in industrial production of substances such as proteins, fatty acids, carbohydrates, vitamins and pigments (MORAIS *et al.*, 2015). Today, the production of microalgae biomass is estimated to be around 7.5 million tonnes per year (MOBIN; ALAM 2017; SATHASIVAM *et al.*, 2019).

The cultivation of microalgae to obtain these bioproducts requires specific environmental conditions such as the control of temperature (20 a 30 °C), light intensity (1000 to 8000 lux), agitation or mixing conditions, nutrient composition (ratio of 106:16:1 to C: N: P) and gas exchanges (oxygen and/or CO<sub>2</sub> injection) (ZUCCARO *et al.*, 2020; SUTHAR; VERMA, 2018; SHOW *et al.*, 2017). The cultivation process can explore photoautotrophic, heterotrophic and / or myxotrophic metabolism. The cultivation system in ponds or photobioreactors are classified as open or closed systems (ZUCCARO *et al.*, 2020).

Researchers believe that the mixotrophic cultivation method, the one that exploits the metabolic capacity of the algae to perform photosynthesis while using simple organic compounds, may be a solution for reusing industrial effluents as a culture medium (PATEL *et al.*, 2019). It was observed that some algae in myxotrophic condition increase their biomass productivity in about 2 to 3 times and by 2 to 10 times in the biomass/lipids ratios (ROOSTAEI *et al.*, 2018). Sajadian *et al.* (2018) suggested that this would be the best approach for algal lipid production. The most positive side of the mixotrophic process is the possibility of associating the cultivation of microalgae with the treatment of effluents. This association is in line with the principles of sustainability (CHOUDHARY *et al.*, 2017; MOHAMMAD *et al.*, 2016).

The global demand for water is expected to continue to increase at a similar rate until 2050. Recently, the biofuel industry accounts for an increase of about 20 to 30% in the use of water (BUREK *et al.*, 2016). Therefore, it is necessary to properly manage

their liquid waste in order to avoid environmental impacts. The transformation of these residues into valuable bioproducts and more biofuel, via the biological process, is considered the most adequate and sustainable route (PATEL *et al.*, 2020). Thus, the recovery of energy accumulated in the liquid waste is considered as an alternative to lower the costs of algal cultivation that serves as treatment prior to its disposal or later use. Finally, such an approach makes microalgae biotechnology economically feasible.

The objective of this work is to systematize the scientific works that report the use and treatment of glycerol and vinasse through the cultivation of microalgae and the extraction of their main products.

## 2 MATERIAL AND METHODS

Article assembly was carried out using the "Periódicos Capes", "Scopus" and / or "Science Direct" databases. The selection was carried out using the keywords "algal or microalgal growth on vinasse" and "algal or microalgal growth on glycerol". Articles published from 2015 onwards and with an impact factor above 2 (Qualis B1, CAPES) were listed in this research.

## 3 RESULTS AND DISCUSSION

It is important to highlight that the increase in the population will also lead to an increase in the consumption of water and fossil fuels. To get an idea of such an increase, just evaluate the projections for the increase in population size. It is estimated that by the end of this century we will increase from 7.7 to 11.2 billion the number of people (ROSER, 2019). The volume of water demanded for the biofuels sector in 2016 represented approximately 31% of the total global usage of fresh water (IEA, 2016). Therefore, the increase in biofuel production is directly related to a significant impact on water consumption. For this reason, the reuse of industrial effluents is essential for future developments in this area.

The biodiesel and ethanol industry generate large volumes of waste such as glycerol and vinasse, respectively. Therefore, combining the cultivation of microalgae and the treatment of this wastes is an important aspect to protect the industry and environment. Therefore, microalgal cultivation has attracted great attention due to its economic and environmental benefits (UBANDO *et al.*, 2020).

Brazil approved a directive law 13,263 / 2016, which progressively increases the percentage of biodiesel in commercial diesel. The volume of such fuel consumed in Brazil was of 5.9 billion liters in 2019 (EPE, 2019). Currently, the percentage of biodiesel supplementation is of 11%. The plan is to reach 15% by 2023 (MME, 2020). Glycerol or crude glycerin is a common residue generated during the process of transesterification of oil into biodiesel. Stoichiometric calculations suggest approximately 10% of the total volume of biodiesel produced (MAKRI *et al.*, 2010). In 2019, around 600 thousand tons of glycerol were produced and its total export reached 283 thousand tons in Brazil (EPE, 2019). The revenue obtained from the export of crude glycerin was of 46.3 million dollars in the period, that is, 52.7% less than what was obtained in 2018. This was due to the higher supply in the market. Thus, there is a consistent drop in the international price of such a product (EPE, 2019).

Table 1 compares the different microalgae crops based on the use of glycerol and vinasse. For glycerin (or glycerol) it is possible to note that the best results of biomass production are those reported by Su *et al.* (2020) and Chen *et al.* (2020). The first authors used *Phaeodactylum tricornutum* grown in F2 culture medium with 0.04 mol L<sup>-1</sup> glycerin supplementation (SU *et al.*, 2020). Chen *et al.* (2020) reported the use of acid pretreated crude glycerin with calcium chloride amendment that favored the growth of *Thraustochytrium* sp. Using the semi-continuous cultivation strategy, the results are better improved: 24.76 g L<sup>-1</sup> and 56.14% lipids after 4 cycles (CHEN *et al.*, 2020).

Other studies have reported the influence of the nitrogen sources on the growth of algae when using such residues (PARANJAPE *et al.*, 2016). Nitrogen supplementation is commonly achieved by the introduction of other effluents that are rich in these substances (REN *et al.*, 2017). The metabolic modes as phototrophic, mixotrophic or even



heterotrophic cultures were also tested (KATIYAR *et al.*, 2017; PODDAR *et al.*, 2018). However, the results vary significantly according to the species of algae. Genetic modifications were tested for enzyme overexpression (SIVARAMAKRISHNAN; INCHAROENSAKDI, 2018).

However, it was not observed a significant improvement in biomass production so far. What can be concluded from these works is that glycerol supplementation increases algal biomass productivity. However, carefully planned limitations on the availability of nutrients such as nitrogen can lead to higher accumulation of algal bioproducts such as lipids. Therefore, it is possible to identify that glycerin is an additional source of carbon capable of stimulating algal growth via myxotrophic metabolism with higher biomass and EPA productivity (CERÓN GARCÍA *et al.*, 2005). However, nitrogen and phosphorus supplementation become the limiting factor in this process (VANEECKHAUTE *et al.*, 2017). That is why it is highlighted that large-scale cultivation can only be carried out within this reuse process under the perspectives defined by sustainable processes (MAJIDIAN *et al.*, 2018).

**Table 1 – Comparison of different microalgae crops in residues from the biofuel industry**

(continue)

Type of effluent from the biofuel industry	Microalgae Specie	Biomass	Bioproducts	Nutrients Removal	Reference
Glycerol	PCH02 (algae similar to <i>Chlorella sorokiniana</i> )	1,55 g L <sup>-1</sup>	L: 27%	51,25% of glycerol	Parajanpe <i>et al.</i> (2016)

(continue)

Glycerol	PCH05 (algae similar to <i>Chlorella vulgaris</i> )	1,78 g L <sup>-1</sup>	L:18%	47,43% of glycerol	Parajanpe <i>et al.</i> (2016)
Glycerol	<i>Chlorella vulgaris</i>	2,15 g L <sup>-1</sup>	L: 24,1% P:50,7%	94,1% of ammonium; 89,9% of total nitrogen; 88,5% of total phosphorous e 86,3% of COD	Ren <i>et al.</i> (2017)
Glycerol	<i>Chlorella</i> sp.	446.50 ± 1.50 mg L <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup>	L: 34,36%	-	Katyar <i>et al.</i> (2017)
Glycerol	<i>Synechocystis</i> sp. PCC 6803	1,8 g L <sup>-1</sup>	L: 20-25%; Clo:2,8ug/10 <sup>8</sup> cells; Carot: 0,8ug /10 <sup>8</sup> cells;	-	Sivaramakrishnan e Incharoensakdi (2018)
Glycerol	<i>Nannochloropsis salina</i>	0,42 g L <sup>-1</sup>	L:4,4%	98,7% of glycerol	Poddar <i>et al.</i> (2018)
Glycerol	<i>Chlorella</i> sp	0,37 g L <sup>-1</sup>	L: 2,48%	63,5% of glycerol	Poddar <i>et al.</i> (2018)
Glycerol	<i>Thraustochytrium</i> sp. BM2	15 g L <sup>-1</sup>	L: 41,87%	>80% of glycerol	Chen <i>et al.</i> (2020)
Glycerol	<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	4,96 g L <sup>-1</sup>	C: 27%; L:38%; P:13%	-	Su <i>et al.</i> (2020)
Vinasse	<i>Micractinium</i> sp. Embrapa LBA32	1,5 g L <sup>-1</sup>	C:21,79%; L:2,50%; P:39,62%	It remained practically unchanged in both	Santana <i>et al.</i> (2017)

(conclusion)

Vinasse	<i>Chlamydomonas biconvexa</i> Embrapa LBA40	2 g L <sup>-1</sup>	C: 11,71%; L:1,26%; P:39,92%	It remained practically unchanged in both	Santana <i>et al.</i> (2017)
Vinasse	<i>Micractinium sp.</i> ME05.	1,07 g L <sup>-1</sup>	L:4,13%	-	Engin <i>et al.</i> (2018)
Vinasse	<i>Chlorella vulgaris</i>	0,77 g L <sup>-1</sup>	C: 36,50%; L:32,82%; P:22,23%	100% of nitrate; 49.93% of COD	de Melo <i>et al.</i> (2018)
Vinasse	<i>Chlorella vulgaris</i>	0,82 g L <sup>-1</sup> in continuous lighting  0,88 g L <sup>-1</sup> in reduced lighting	C: 15%; L:9%; P:32%; Clo:1,40 mg g <sup>-1</sup> ; Carot: 0,47mg g <sup>-1</sup>  C: 14%; L:3%; P:32%; Clo:1,12 mg g <sup>-1</sup> ; Carot: 0,22 mg g <sup>-1</sup>	76% de of total carbon  84,4% of total carbon	Beigbeder <i>et al.</i> (2019)
Vinasse	<i>Arthrospira maxima</i>	3,015 g L <sup>-1</sup>	C:10,67%; L:11,2%; P:57,04%	81% of COD; 89,2% BOD	Montalvo <i>et al.</i> (2019)
Vinasse	<i>Botryococcus braunii</i>	2,25 g L <sup>-1</sup>	L:13,3%	-	Sydney <i>et al.</i> (2019)
Vinasse	<i>Chlorella sorokiniana</i>	1,62 g L <sup>-1</sup>	C: 17,8%; L:8,9%; P:37,8%	95,3% of nitrogen; 78,3% of phosphorous	Sayedin <i>et al.</i> (2020)

Abbreviations: C: carbohydrates; L: lipids; P: proteins; Clo: chlorophyll; Carot: carotenoids

Ethanol is the most widely used biofuel in the world, and Brazil ranks second amongst the largest producers. The cost of this production is, however, the impact cause

by the generation of a significant amount of vinasse. About 460 billion liters were produced with the 2019/2020 harvest (CONAB, 2020). This is similar to ten times the volume of Sobradinho dam in BA, Brazil. For this reason, vinasse is a major cause of agro-industrial pollution. The vast majority are used directly in the fertirrigation process. In moderation, it introduces benefits to the soil, such as, increased agricultural productivity, improved soil physical conditions and the return of nutrients to the soil (CABELLO *et al.*, 2009; CRUZ *et al.*, 2007). However, the continuous vinasse discharge in the soil causes a series of problems such as soil salinization, decreased seed germination and increased eutrophication of water bodies (MORAES *et al.*, 2015; ESPAÑA-GAMBOA *et al.*, 2011). Few studies report the use of crude vinasse as basic medium for growing microalgae. This effluent has a high turbidity and a brown color that makes light penetration difficult and, thus, hinders algae photosynthesis. For this reason, most tests are done with a variable concentration of vinasse diluted in synthetic medium or distilled water. Engin *et al.* (2018) and Melo *et al.* (2018) used vinasse as a culture medium for microalgae in a dilution of 2-20%.

They obtained results of 0.70-1.1 g / L of biomass depending on the type of microalgae and the cultivating conditions. Sayedin (2020) reported the use of diluted anaerobically digested vinasse in order to obtain a production performance of 1.6 g/L. The authors that worked with raw vinasse, managed so by using a pretreatment process prior to the microalgae cultivation. Pretreatment commonly involves clarifying vinasse through filtration, centrifugation or the addition of chemical compounds as flocculants. All these pretreatments have the objective of reducing the vinasse organic loading and turbidity. *Botryococcus braunii* showed a good growth performance in 100% vinasse pretreated with alkali (SYDNEY *et al.*, 2019). Beigbeder *et al.* (2019) cultivated *Chlorella vulgaris* in centrifuged vinasse and Santana *et al.* (2016) cultivated *Chlamydomonas biconvexa* and *Micractinium* sp. in 100% clarified vinasse.

Montalvo *et al.* (2019) and Sydney *et al.* (2019) reported the best results with algal biomass production in vinasse (3.015 g/L and 2.5 g/L, respectively). The authors used different strategies. The first strategy was to dilute the vinasse by 30% and add

CaCO<sub>3</sub> supplementation. This supplementation not only corrected the pH of the naturally acid effluent to close to neutral, but it also helped to increase carbon dioxide availability. The second step was to adapt the microalgae to vinasse in a sequential culturing line, first in 10, followed by 20 and 30% of vinasse. All two approaches culminated in a better performance on algal biomass production. It is important to highlight that in most of the cited works, the accumulation of lipids did not exceed 15% of the produced biomass. This is yet a low value for commercial production of algal biodiesel. Few reports focus on the productivity of other valuable algal by-products such as proteins, pigments and carbohydrates.

#### 4 CONCLUSION

High amounts of glycerin and vinasse are currently generated as a result of the increase in the global production of biofuels. Microalgae are able to grow using the two liquid wastes mentioned, but some challenges still need to be faced. Regarding glycerin (or glycerol), high concentrations can hinder algal growth. Each species of microalgae reacts differently to glycerin supplementation, but at low concentrations it can increase biomass production.

The dosage must be individually pretested by also testing the addition of nutrients such as N and P. The biggest problem faced by the cultivation of microalgae in vinasse is its color and turbidity. Therefore, strategies are needed to clarify vinasse and also to pre-adapt the microalgae. *Chlorella* sp genus are commonly those that best respond to the use of glycerin and vinasse. No work has yet critically and definitively delimited the operational parameters of algal cultivation systems when using glycerin or vinasse. In order to implement industrial scale algal cultivation, it is still necessary, not only the definitions of system operating variable, but also the implementation of the sustainability concept approach into the process.

## 5 ACKNOWLEDGMENT

The authors would like to acknowledge the support of CAPES, RENORBIO and UFBA.

## 6 REFERENCES

- BEIGBEDER, J. B.; BOBOESCU, J. Z.; LAVOIE, J. M. Thin stillage treatment and co-production of bio-commodities through finely tuned *Chlorella vulgaris* cultivation. **Journal of Cleaner Production**, v. 216, p. 257-267, 2019.
- BOROWITZKA, M. A. **Algae as Food**, In: WOOD, B. J. B (ed). Microbiology of Fermented Foods. 2 ed. New York: Springer Science, 1998. cap. 18, p. 585-602
- BUREK, P. Y.; SATOH, G.; FISCHER, M. T.; KAHIL, A.; SCHERZER, S.; TRAMBEREND, L. F.; NAVA, Y.; WADA, S. **Water Futures and Solution** - Fast Track Initiative (Final Report) 2016. Disponível em: <http://pure.iiasa.ac.at/13008/>. IIASA Working Paper WP 16-006. Acesso em: 10 out. 2020.
- CABELLO, P. E.; SCOGNAMIGLIO, F. P.; TERÁN, F. J. C. Tratamento de vinhaça em reator anaeróbio de leito fluidizado. **Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 321-338, 2009.
- GARCÍA, M. C. C.; MIRÓN, A. S.; SEVILLA, J. M. F.; GRIMA, E. M.; CAMACHO, F. G. Mixotrophic growth of the microalga *Phaeodactylum tricornutum*: influence of different nitrogen and organic carbon sources on productivity and biomass composition. **Process Biochemistry**, v. 40, p. 297–305, 2005.
- CHEN, C-Y.; LEE, M-H.; LEONG, Y. K.; CHANG, J-S.; LEE, D-J. Biodiesel production from heterotrophic oleaginous microalga *Thraustochytrium* sp. BM2 with enhanced lipid accumulation using crude glycerol as alternative carbon source. **Bioresource Technology**, v. 306, p. 1-8, 2020.
- CHOUDHARY, P.; PRAJAPATI, S. K.; KUMAR, P.; MALIK, A.; PANT, K. K. Development and performance evaluation of an algal biofilm reactor for treatment of multiple wastewaters and characterization of biomass for diverse applications. **Bioresource technology**, v. 224, p. 276–284, 2017.
- CONAB - National Supply Company (Companhia Nacional de Abastecimento). **Monitoring of brazilian sugar and ethanol sector in Brazil**, v. 7, 62 p. - Edition for 2019–2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>. Acesso em 10 out. 2020.
- CRUZ, J. I. da; HOJDA, A.; PORTUGAL, R. de S. Atuação do comitê da bacia hidrográfica do rio pardo na problemática da contaminação de águas subterrâneas pela vinhaça: carência de informações e ações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA

SANITÁRIA E AMBIENTAL., 24., Belo Horizonte, MG, 2007. **Anais** [...] Belo Horizonte: ABES, 2007.

DE MELO, R. G.; ANDRADE, A. F.; BEZERRA, R. P.; CORREIA, D. S.; SOUZA, V. C.; BRAILEIRO-VIDAL, A. C.; MARQUES, D. A. V.; PORTO, A. L. F. *Chlorella vulgaris* mixotrophic growth enhanced biomass productivity and reduced toxicity from agro-industrial by-products. **Chemosphere**, v. 204, p. 344-350, 2018.

DINIZ, G. S.; SILVA, A. F.; ARAÚJO, O. Q.; CHALOUB, R. M. The potential of microalgal biomass production for biotechnological purposes using wastewater resources. **Journal of Applied Phycology**, v. 29, n. 2, p. 821–832, 2017.

ENGIN, I. K.; CEKMECELIOGLU, D.; YUCEL, A. M.; OKTEM, H. A. Evaluation of heterotrophic and mixotrophic cultivation of novel *Micractinium* sp. ME05 on vinasse and its scale up for biodiesel production. **Bioresource Technology**, v. 251, p. 128–134, 2018.

EPE - Energy Research Company (Empresa de Pesquisa Energética). **National Energy Balance**. 73 p. Edition 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>. Acesso em: 10 out. 2020.

ESPAÑA-GAMBOA, E.; MIJANGOS-CORTES, J.; BARAHONA-ÉREZ, L.; DOMINGUEZ-MALDONADO, J.; HERNÁNDEZ-ZARATE, G.; ALZATE-GAVIRIA, L. Vinasses: characterization and treatments. **Waste Manag Research**, v. 29, n. 12, p. 1235-1250, 2011.

GODFRAY, H. C. J.; BEDDINGTON, J. R.; CRUTE, I. R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J. F.; PRETTY, J.; ROBINSON, S.; THOMAS, S. M.; TOULMIN, C. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 812–818, 2010.

IEA - International Energy Agency. **Global water consumption in the energy sector by fuel type in the Sustainable Development Scenario, 2016-2030**, IEA, Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-water-consumption-in-the-energy-sector-by-fuel-type-in-the-sustainable-development-scenario-2016-2030>. Acesso em: 10 out. 2020.

KATIYAR, R.; GURJAR, B. R.; BHARTI, R. K.; KUMAR, A.; BISWAS, S.; PRUTHI, V. Heterotrophic cultivation of microalgae in photobioreactor using low cost crude glycerol for enhanced biodiesel production. **Renewable Energy**, v. 113, p. 1359-1365, 2017.

LAM, M. K.; LEE, K. T.; MOHAMED, A. R. Current status and challenges on microalgae-based carbon capture. **International Journal of Greenhouse Gas Control**, v. 10, p. 456–469, 2012.

LV, J.; GUO, J.; FENG, J.; LIU, Q.; XIE, S. Effect of sulfate ions on growth and pollutants removal of self-flocculating microalga *Chlorococcum* sp. GD in synthetic municipal wastewater. **Bioresource technology**, v. 234, p. 289–296, 2017.

MAJIDIAN, P.; TABATABAEI, M.; ZEINOLABEDINI, M.; NAGHSHBANDI, M. P.; CHISTI, Y. Metabolic engineering of microorganisms for biofuel production. **Renewable Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 3863–3885, 2018.

MAKRI, A.; FAKAS, S.; AGGELIS, G. Metabolic activities of biotechnological interest in *Yarrowia lipolytica* grown on glycerol in repeated batch cultures. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 2351–2358, 2010.

METZ, B.; DAVIDSON, O. R.; BOSCH, P. R.; DAVE, R.; MEYER, L. A. **Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge: United Kingdom and New York, USA; 2007.

MME – Ministry of Mines and Energy (Ministério de Minas e Energia). **Análise de conjuntura dos biocombustíveis**. 79 p. Edition: 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/analise-de-conjuntura-dos-biocombustiveis-2019>. Acesso em: 10 out. 2020.

MOBIN, S.; ALAM, F. Some promising microalgal species for commercial applications: A review. **Energy Procedia**, v. 110, p. 510-517, 2017.

MOBIN, S. M. A.; CHOWDHURY, H.; ALAM, F. Commercially important bioproducts from microalgae and their current applications – A review. **Energy Procedia**, v. 160, p. 752-760, 2019.

MOHAMMAD, M. M. A.; KALBASI, M.; MOUSAVI, S. M.; GHOBADIAN, B. Investigation of mixotrophic, heterotrophic, and autotrophic growth of *Chlorella vulgaris* under agricultural waste medium. **Preparative Biochemistry & Biotechnology**, v. 46, n. 2, p. 150–156, 2016.

MONTALVO, G. E. B.; THOMAZ-SOCCOL, V.; VANDENBERGHE, L. P. S.; CARVALHO, J. C.; FAULDS, C. B.; BERTRAND, E.; PRADO, M. R. M.; BONATTO, S. J. R.; SOCCOL, C. R. *Arthrospira maxima* OF15 biomass cultivation at laboratory and pilot scale from sugarcane vinasse for potential biological new peptides production. **Bioresource Technology**, v. 273, p. 103–113, 2019.

MORAIS, M. G.; VAZ, B. S.; MORAIS, E. G.; COSTA, A. V. Biologically Active Metabolites Synthesized by Microalgae. **BioMed Research International**, v. 2015, p. 1-15, 2015.

MORÉE, A.; BEUSEN, A.; BOUWMAN, A.; WILLEMS, W. Exploring global nitrogen and phosphorus flows in urban wastes during the twentieth century. **Global Biogeochemical Cycles**, v. 27, n. 3, p. 836–846, 2013.

PARANJAPE, K.; LEITE, G. B.; HALLENBECK, P. C. Effect of nitrogen regime on microalgal lipid production during mixotrophic growth with glycerol. **Bioresource Technology**, v. 214, p. 778–786, 2016.



PATEL, A. K.; JOUN, J. M.; HONG, M. E.; SIM, S. J. Effect of light conditions on mixotrophic cultivation of green microalgae. **Bioresource Technology**, v. 282, p. 245–253, 2019.

PIENKOS, P.; DARZINS, A. The promise and challenges of microalgal-derived biofuels. Biofuels. **Bioproducts and Biorefining**, v. 3, n. 4, p. 431–440, 2009.

PODDAR, N.; SEN, R.; MARTIN, G. J. O. Glycerol and nitrate utilisation by marine microalgae *Nannochloropsis salina* and *Chlorella* sp. and associated bacteria during mixotrophic and heterotrophic growth. **Algal Research**, v. 33, p. 298–309, 2018.

RAMLOW, H.; MACHADO, R. A. F.; MARANGONI, C. Direct contact membrane distillation for textile wastewater treatment: a state of the art review. **Water Science Technology**, v. 76, n. 10, p. 2565-2579, 2017.

REN, H.; TUO, J.; ADDY, M. M.; ZHANG, R.; LU, Q.; ANDERSON, E.; CHEN, P.; RUAN, R. Cultivation of *Chlorella vulgaris* in a pilot-scale photobioreactor using real centrate wastewater with waste glycerol for improving microalgae biomass production and wastewater nutrients removal. **Bioresource Technology**, v. 245, p. 1130–1138, 2017.

ROOSTAEI, J.; ZHANG, Y.; GOPALAKRISHNAN, K.; OCHOCKI, A. J. Mixotrophic Microalgae Biofilm: A novel algae cultivation strategy for improved productivity and cost-efficiency of biofuel feedstock production. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1-10, 2018.

ROSER, M.; RITCHIE, H.; ORTIZ-OSPINA, E. **World Population Growth**. OurWorldInData.org, 2019. Disponível em: <https://ourworldindata.org/world-population-growth>. Acesso em 08 out. 2020.

SAJADIAN, S. F.; MOROWVAT, M. H.; GHASEMI, Y. Investigation of autotrophic, heterotrophic, and mixotrophic modes of cultivation on lipid and biomass production in *Chlorella vulgaris*. **National Journal of Physiology, Pharmacy and Pharmacology**, v. 8, n. 4, p. 594-596, 2018.

SANTANA, H.; CEREIJO, C. R.; TELES, V. C.; NASCIMENTO, R. C.; FERNANDES, M. S.; BRUNALE, P.; CAMPANHA, R. C.; SOARES, I. P.; SILVA, F. C. P.; SABAINI, P. S.; SIQUEIRA, F. G.; BRASIL, B. S. A. Microalgae cultivation in sugarcane vinasse: selection, growth and biochemical characterization. **Bioresource Technology**, v. 228, p. 2133-140, 2017.

SATHASIVAM, R.; RADHAKRISHNAN, R.; HASHEM, A.; ABDULLAH, E. F. Microalgae metabolites: A rich source for food and medicine. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, n. 4, p. 709-722, 2019.

SAYEDIN, F.; KERMANSHAHI-POUR, A.; HE, Q. S.; TIBBETTS, S. M.; LALONDE, C. G. E.; BRAR, S. K. Microalgae cultivation in thin stillage anaerobic digestate for nutrient recovery and bioproduct production. **Algal Research**, v. 47, p. 1-10, 2020.

SHOW, P. L.; TANG, M. S. Y.; LING, T. C.; OOI, C-W.; CHANG, J-S. A Holistic Approach to Managing Microalgae for Biofuel Applications. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 18, n. 2015, p. 1-34, 2017.

SIVARAMAKRISHNAN, R.; INCHAROENSAKDI, A. Enhancement of lipid production in *Synechocystis* sp. PCC 6803 overexpressing glycerol kinase under oxidative stress with glycerol supplementation. **Bioresource Technology**, v. 267, p. 532–540, 2018.

SU, M.; D'IMPORZANO, G.; VERONESI, D.; AFRIC, S.; ADANI, F. *Phaeodactylum tricornutum* cultivation under mixotrophic conditions with glycerol supplied with ultrafiltered digestate: A simple biorefinery approach recovering C and N. **Journal of Biotechnology**, v. 323, p. 73–81, 2020.

SUBRAMANIAN, G.; YADAV, G.; SEN, R. Rationally leveraging mixotrophic growth of microalgae in different photobioreactor configurations for reducing the carbon footprint of an algal biorefinery: a techno-economic perspective. **RSC Advances**, v. 6, n. 77, p. 72897-72904, 2016.

SUTHAR, S.; VERMA, R. Production of *Chlorella vulgaris* under varying nutrient and abiotic conditions: a potential microalga for bioenergy feedstock. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 113, p. 141–148, 2018.

SYDNEY, E. B.; NETO, C. J. D.; CARVALHO, J. C.; VANDENBERGHE, L. P. S.; SYDNEY, A. C. N.; LETTI, L. A. J.; KARP, S. G.; SOCCOL, T.; WOICIECHOWSKI, A. L.; MEDEIROS, A. B. P.; SOCCOL, C. R. Microalgal biorefineries: Integrated use of liquid and gaseous effluents from bioethanol industry for efficient biomass production. **Bioresource Technology**, v. 292, p. 1-7, 2019.

UBANDO, A. T.; FELIX, C. B.; CHEN, W. H. Biorefineries in circular bioeconomy: comprehensive review. **Bioresource Technology**, v. 299, 122585, 2020.

VANEECKHAUTE, C.; LEBUF, V.; MICHELS, E.; BELIA, E.; VANROLLEGHEM, P. A.; TACK, F. M. G.; MEERS, E. Nutrient recovery from digestate: systematic technology review and product classification. **Waste Biomass Valorization**, v. 8, n. 1, p. 21–40, 2017.

ZUCCARO, G.; YOUSUF, A.; POLLIO, A.; STEYER, J.-P. **Microalgae Cultivation Systems**. In: *Microalgae Cultivation for Biofuels Production*. Elsevier, p.11-19, 2020.

## USO DA BIOMASSA COMO FONTE ENERGÉTICA PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Jesyka M. Guedes<sup>\*1</sup>, Anne G. D. Santos<sup>2</sup>, Hércio S. dos Santos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Ciências Naturais, Laboratório de Química de Produtos Naturais, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, \*e-mail: jesyka.mg@hotmail.com.

<sup>2</sup>Curso de Licenciatura em Química, Laboratório de Catálise, Ambientes e Materiais, Universidade do Estado do Rio Grande do Norte.

**RESUMO:** A procura por combustíveis renováveis, tem aumentado nos últimos anos, com o propósito de substituir, parcialmente, os combustíveis fósseis, visto que esses, geram em sua queima uma grande quantidade de gases poluentes. Os biocombustíveis se apresentam como uma das alternativas mais viáveis para suprir a demanda energética mundial e minimizar os danos ao meio ambiente. O foco da indústria atualmente está na produção dos combustíveis provenientes da biomassa. As vantagens do uso da biomassa na produção de energia são; baixo custo, ser renovável, permitir o reaproveitamento de resíduos e ser menos poluente que outras fontes de energia como o petróleo ou o carvão. Para aumentar a eficiência do processo e reduzir os impactos socioambientais, tem-se desenvolvido e aperfeiçoado tecnologias de conversão mais eficientes. Entre as principais rotas de produção de biocombustíveis, os processos termoquímicos são os mais relatados na literatura. Por meio desses, partindo de produtos orgânicos com longa cadeia carbônica, é possível obter produtos com cadeias carbônicas menores e de maiores valores no mercado.

**Palavras-chave:** Biomassa. Biocombustível. Renovável.

**ABSTRACT:** The demand for renewable fuels has increased in recent years, with the purpose of partially replacing fossil fuels, since these generate a large amount of polluting gases when burning. Biofuels are presented as one of the most viable alternatives to supply the global energy demand and minimize damage to the environment. The focus of the industry today is on the production of fuels from biomass. The advantages of using biomass in energy production are; low cost, be renewable, allow the reuse of waste and be less polluting than other energy sources such as oil or coal. To increase the efficiency of the process and reduce socio-environmental impacts, more efficient conversion technologies have been developed and improved. Among the main biofuel production routes, thermochemical processes are the most reported in the literature. Through these, starting from organic products with a long carbon chain, it is possible to obtain products with smaller carbon chains and higher values in the market.

**Keywords:** Biomass. Biofuel. Renewable.

## 1 INTRODUÇÃO

Com o intuito de minimizar os impactos ambientais ocasionados pelo uso exagerado de combustíveis fósseis, a procura por novas fontes energéticas que minimizem as emissões de dióxido de carbono vem aumentando, visto que em grandes quantidades desse gás na atmosfera aumenta a temperatura do planeta. Esse problema ambiental acarreta vários impactos, tais como: derretimento de calotas polares (BARBOSA *et al* 2011), aumento do nível do mar e mudanças severas nos padrões climáticos do planeta.

Nesse sentido, a crescente preocupação com as questões ambientais e a conscientização mundial sobre a promoção do desenvolvimento em bases sustentáveis vêm estimulando a realização de pesquisas de desenvolvimento tecnológico que visam à incorporação dos efeitos da aprendizagem e a consequente redução dos custos de geração dessas tecnologias (FREITAS; DATHEIN, 2013). Diante disso, os

biocombustíveis se apresentam como uma das alternativas mais viáveis que permite assegurar uma redução na emissão de gases poluentes, além disso os biocombustíveis se apresentam como boa alternativa para substituir em parte a dependência dos combustíveis fósseis (AZEVEDO, 2013). O foco da indústria atualmente está na produção dos combustíveis provenientes da biomassa.

Tendo em vista a importância da biomassa para o setor econômico, é notório que essa possui vantagens comparativas (como a agroindústria sólida e produtiva e a riqueza da biodiversidade). Já em relação aos impactos socioambientais, a biomassa é considerada uma fonte sustentável, devido ao baixo nível de emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera, e além de contribuir para a geração de empregos, influencia na redução do êxodo rural, apresentando-se como uma excelente opção de fonte complementar à matriz energética atual. Nesse contexto, o Brasil apresenta grande potencial para o aproveitamento de biomassas em virtude de sua intensa radiação solar, além de sua elevada diversidade de culturas agrícolas (MONTEIRO *et al.*, 2013).

Além disso, seu aproveitamento pode ser feito diretamente, por intermédio da combustão em fornos, caldeiras etc. Para aumentar a eficiência do processo e reduzir os impactos socioambientais, tem-se desenvolvido e aperfeiçoado tecnologias de conversão mais eficientes, como os processos termoquímicos. Dessa forma, o objetivo dessa pesquisa foi realizar um estudo sobre o potencial energético de diferentes fontes de biomassa na produção de biocombustíveis.

### **1.1 Biocombustível: Estado da Arte**

O desenvolvimento da humanidade, ao longo de muitos anos, garantiu melhores índices de conforto e longevidade devido a avanços na agricultura, na medicina, dentre outros. A partir destes, a densidade populacional no planeta vem aumentando e, com isso, também aumenta a procura por mais recursos energéticos, causando impactos ambientais que vêm sendo discutido mundialmente, mediante a conscientização da gravidade da questão (CARVALHO *et al.*, 2014).

Nessa perspectiva muita atenção tem sido dada ao uso de combustíveis renováveis. A comunidade científica da área argumenta que esses oferecem várias vantagens sobre os combustíveis de origem fósseis, especialmente no que diz respeito à redução da dependência do petróleo e a diminuição da emissão de gases do efeito estufa (GEE), assegurando a continuidade financeira e o estilo de vida para sociedade agrícola dependentes (FREITAS; DATHEIN, 2013).

## 1.2 Biocombustível

No Brasil programas como: Programa Nacional de Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural, a Lei de Eficiência Energética, o Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB) e o Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL), foram criados para impulsionar a política energética de forma a criar alternativas no combate aos problemas ambientais, com ênfase na produção de energia através da biomassa (SOUZA, 2015).

Segundo a Lei Nº 9.478, de 6.8.1997 (ANP, 2011), o biocombustível é definido “como sendo um combustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna ou, conforme regulamento, para outro tipo de geração de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil” (SANTOS, 2010a).

Os seguintes produtos são considerados biocombustíveis (BART *et al.*, 2010): bioetanol, biodiesel, biogás, biometanol, biodimetileter, biometil-terc-butiléter (MTBE), bioetil tercbutiléter, diesel sintético (diesel verde), biohidrogênio e óleo vegetal.

Segundo estes autores estes são conceituados e denominados por:

- O bioetanol é um substituto direto da gasolina, produzido a partir de produtos agrícolas ou de origem vegetal. No Brasil a principal matéria prima usada para produção deste é a cana de açúcar.
- O biodiesel são ésteres metílicos ou etílicos produzidos a partir de óleos vegetais ou graxas animais, podem ser usados em motores de combustão interna.

No Brasil as principais matérias primas usadas para sua produção são o óleo de soja e o sebo bovino.

- O biogás é um combustível gasoso produzido a partir da digestão anaeróbica da biomassa e/ou da biodegradabilidade de resíduos orgânicos.
- O biometanol é o metanol produzido a partir da biomassa para uso como combustível.
- O biodimetiléter é o dimetileter produzido a partir da biomassa.
- O biometil-terc-butiléter é um combustível produzido a partir de biometanol.
- O bioetil.terc.butiléter é um combustível produzido a partir de bioetanol. diesel sintético consiste em hidrocarbonetos produzido a partir da pirólise de biomassa.
- O biohidrogênio é o hidrogênio produzido a partir de biomassa ou de frações biodegradáveis de resíduos.

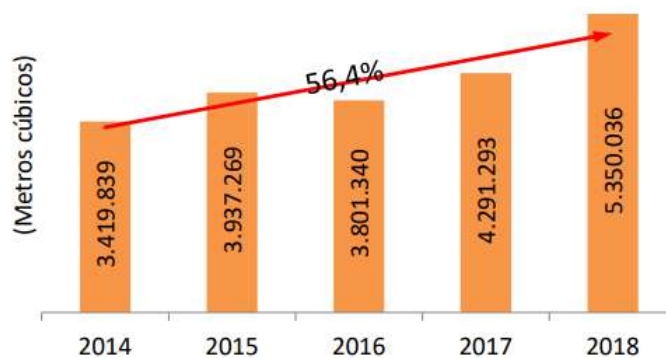
Dentre estes os biocombustíveis mencionados anteriormente, o etanol e o biodiesel têm ganhado grande destaque, tanto nas pesquisas, como na produção industrial (Tabela 1 e Gráfico 1). A utilização do etanol tem como principal objetivo ser usado em carros de pequeno porte, podendo substituir parcialmente ou totalmente a gasolina, já o biodiesel tem como objetivo, principal, substituir parcialmente o diesel mineral (TAYEH *et al.*, 2014). Dessa forma, será evidenciado no texto as pesquisas realizadas para produção dos dois principais biocombustíveis comercializados no país.

**Figura 1 - Produção brasileira de etanol (em mil litros)**

Estados/Região	Total			Anidro			Hidratado		
	2017/18	2018/19	Var (%)	2017/18	2018/19	Var (%)	2017/18	2018/19	Var (%)
NORTE	237.160	208.304	-12,2	159.219	105.777	-33,6	77.941	102.527	31,5
NORDESTE	1.520.959	1.941.275	27,6	786.418	669.543	-14,9	734.541	1.271.732	73,1
Maranhão	162.660	147.916	-9,1	142.972	122.828	-14,1	19.688	25.088	27,4
Piauí	20.400	37.480	83,7	19.577	18.020	-8,0	823	19.460	2.264,5
Rio Grande do Norte	76.991	104.977	36,3	32.032	16.531	-48,4	44.959	88.446	96,7
Paraíba	363.898	382.000	5,0	183.734	152.662	-16,9	180.164	229.338	27,3
Pernambuco	319.319	431.893	35,3	91.985	79.843	-13,2	227.334	352.050	54,9
Alagoas	326.902	490.409	50,0	217.373	180.350	-17,0	109.529	310.059	183,1
Sergipe	70.144	100.902	43,8	24.031	19.099	-20,5	46.113	81.803	77,4
Bahia	180.645	245.698	36,0	74.714	80.210	7,4	105.931	165.488	56,2
CENTRO-OESTE	8.244.333	9.993.609	21,2	2.438.709	2.189.563	-10,2	5.805.624	7.804.046	34,4
SUDESTE	15.944.874	19.378.209	21,5	7.025.593	6.074.429	-13,5	8.919.281	13.303.780	49,2
SUL	1.290.328	1.621.080	25,6	584.979	519.439	-11,2	705.349	1.101.641	56,2
BRASIL	27.237.654	33.142.477	21,7	10.994.918	9.558.751	-13,1	16.242.736	23.583.726	45,2

Fonte: CONAB (2019)

**Gráfico 1 - Produção brasileira de biodiesel (m<sup>3</sup>)**



Fonte: ANP (2018).

Segundo informações do Ministério do Meio Ambiente (2014), o Brasil possui uma posição estratégica no cenário internacional de produção e consumo de biomassa para fins energéticos. Isso é possível devido à situação geográfica privilegiada do país, que recebe intensa radiação solar ao longo de todo o ano. Outro ponto importante é a



grande disponibilidade de terra disponível para agricultura, com solos que apresentam boas características e condições climáticas favoráveis.

No Brasil, existem diversas oleaginosas cujas sementes possuem óleo com alto potencial para serem empregadas na produção de biocombustível. Os óleos vegetais são substâncias oriundas geralmente do fruto de plantas. A diferença entre o óleo e a gordura é feita com base nas suas propriedades físicas, à temperatura ambiente, os óleos sempre estão no estado líquido, já as gorduras estão no estado sólido. O grau de insaturação e ponto de fusão são as propriedades que influenciam diretamente no seu estado físico (SANTOS, 2013).

Os óleos vegetais são formados principalmente por triglicerídeos, resultante da ligação de três moléculas de ácidos graxos e uma molécula de glicerol, e em sua composição, podem ter outros constituintes em menor quantidade como: monoacilglicerídeos, diacilglicerídeos e ácidos graxos livres (SANTOS, 2010).

O etanol produzido de cana-de-açúcar surgiu, no Brasil, basicamente por duas razões: a necessidade de amenizar as sucessivas crises do setor açucareiro e a tentativa de reduzir a dependência do petróleo importado. Nesse sentido, no início do século XX, ocorreram as primeiras ações de introdução do etanol na matriz energética brasileira.). O etanol é um biocombustível obtido, principalmente, a partir do processamento e fermentação da cana de açúcar no Brasil. Os automóveis que circulam no País utilizam duas categorias de etanol: hidratado e anidro. O etanol hidratado é o vendido nos postos, enquanto o etanol anidro é aquele misturado à gasolina, de acordo com a legislação vigente.

Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), em fevereiro de 2017 existiam 349 plantas produtoras de etanol em operação no País, correspondendo a uma capacidade total autorizada de 186.176 m<sup>3</sup>/dia de produção de etanol hidratado e 99.848 m<sup>3</sup>/dia de produção de etanol anidro. Nos últimos anos tem-se observado no Brasil uma crescente produção de etanol de milho principalmente no Centro-Oeste que é grande produtor desse grão no País, o que garante fácil acesso à matéria-prima. A estimativa da Conab (2019) para a safra 2019/20 é de que a produção

de etanol de milho no Brasil apresente um crescimento de quase 80%, com destaque para o hidratado, cuja produção deverá praticamente dobrar. Um dos fatores que devem contribuir para esse incremento na produção de etanol é o aumento da oferta de milho no Brasil.

Segundo Chiaramonti *et al.* (2014), os biocombustíveis como o biodiesel, pode ser obtido através de algumas rotas de produção, dentre estas estão: processos químicos; e processos termoquímicos. Conforme Santos (2015), o processo químico, denominado processo de transesterificação é o mais utilizado, durante à transesterificação de óleos vegetais, um triglicerídeo reage com um álcool na presença de um catalisador produzindo uma mistura de ésteres monoalquílicos de ácidos graxos e glicerol.

Através da rota termoquímica, o mais utilizado é o craqueamento térmico e termocatalítico (LI *et al.*, 2016; ARUN *et al.*, 2015). O craqueamento vem sendo bastante reportado, pois esta técnica é de simples operação, baixo custo, e a infraestrutura necessária já se encontra bem desenvolvida na destilação de petróleo, podendo ser reaproveitada para esta reação, além disto, esta é compatível com uma grande variedade de matérias primas (BOTTON, 2012; BRIDGWATER, 2012).

### **1.3 Processos de Produção de Biocombustíveis**

#### **1.3.1 Transesterificação**

O método consiste em reagir um lipídeo (conhecidos como triacilglicerídeos ou triglicerídeos) com um mono-álcool de cadeia curta (metílico ou etílico), na presença de um catalisador (base ou ácido), resultando na produção de uma mistura de ésteres alquílicos de ácidos graxos (denominado de biodiesel) e glicerol (SANTOS, 2015).

Nos estudos realizados por Alves (2010), pelo processo de transesterificação do óleo de pinhão manso bruto, os pesquisadores conseguiram identificar as melhores condições: proporção molar óleo:etanol de 1:12, 1% de KOH, 50 °C por 60 minutos sob

agitação constante, atingindo uma conversão de 77,9%. Com a utilização de hidróxido de bário como catalisador, os melhores parâmetros experimentais foram 1,5% de álcali, 70 °C por 90 minutos com rendimento de 72,08%. Avellaneda (2010) atingiu 86,6% (m/m) de rendimento com 96,52% de ésteres metílicos, quando o óleo bruto esterificado foi submetido a 60 °C por 75 minutos e 120 rpm, misturados a uma razão molar metanol:óleo de 6:1 e 0,6% de NaOH (m/m).

Em similares condições, Almeida *et al.* (2015) obtiveram 87,1% de biodiesel com 94,8% de ésteres metílicos, a partir de óleo de palma esterificado que reagiu a uma razão molar metanol:óleo de 9:1, 0,5% de NaOH, com temperatura mantida a 60 °C por 60 minutos a 300 rpm. Narváez, Noriega e Cadavid (2015) utilizando etanol e óleo de palma refinado, branqueado e desodorizado, conseguiram um rendimento da reação de 100% com 96% e ésteres etílicos. As condições ótimas de transesterificação foram razão molar etanol:óleo de 6:1, 1% de NaOH, a 70 °C por 60 minutos e 400 rpm.

### 1.3.2 Craqueamento

O craqueamento vem sendo bastante reportado, pois esta técnica é de simples operação, baixo custo, e a infraestrutura necessária já se encontra bem desenvolvida na destilação de petróleo, podendo ser reaproveitada para esta reação, além disto, esta é compatível com uma grande variedade de matérias primas (BOTTON, 2012). O craqueamento de óleos vegetais permite a obtenção de biocombustíveis compatíveis com os combustíveis líquidos de origem mineral (diesel, gasolina, bioquerosene, dentre outros), (ARUN *et al.*, 2015; GALADIMA; MURAZA, 2015; LI *et al.*, 2016). O maior enfoque das pesquisas recentes é para obtenção do diesel e gasolina verdes, no entanto em seus resultados sempre eram relatadas porcentagens de hidrocarbonetos entre C12 e C16, compatíveis com as cadeias carbônicas do bioquerosene (MIKULEC *et al.*, 2010; ASOMANING *et al.*, 2014).

O craqueamento de óleos vegetais já era usado em meados do século XX. Mas seu uso foi impulsionado durante a segunda guerra mundial em virtude da escassez

de combustíveis fósseis. Desde então, muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos na área de produção de biocombustíveis via craqueamento, seja pela rota térmica ou catalítica. Tanto o craqueamento catalítico, quanto a pirólise utilizando peneiras moleculares, tem se mostrado bastantes promissores devido à seletividade a produtos de valor agregado (LUZ JR *et al.*, 2010; RAMYA *et al.*, 2012; LI *et al.*, 2015).

### 1.3.3 Craqueamento Térmico

Pesquisas têm sido relatadas sobre a produção de biocombustíveis via craqueamento térmico de triglicerídeos. O método é caracterizado por uma temperatura de aproximadamente 500°C no reator, baixo tempo de residência e alta taxa de aquecimento (XU *et al.*, 2013). O craqueamento térmico utiliza apenas altas temperaturas para realizar a quebra das ligações, o que é considerado uma inconveniência.

Tudorachi e Mustata (2015) avaliaram o comportamento térmico e a análise dos gases evoluídos na degradação térmica de alguns óleos vegetais em atmosfera de nitrogênio, por meio de análise termogravimétrica acoplada à espectroscopia FT-IR e MS entre 30 e 600 °C. A análise térmica revelou que o processo de degradação desses óleos ocorreu em muitos passos, devido às diferentes estruturas químicas dos ácidos graxos. Com base nos dados obtidos a partir dos espectros de FT-IR e MS, os principais produtos gasosos resultantes da degradação térmica foram água, dióxido de carbono, hidrocarbonetos alifáticos, saturados e insaturados e também alguns compostos hidroxílicos, carbônicos e carboxílicos.

No ano seguinte Fimberger, Swoboda e Reichhold (2016), realizaram o craqueamento térmico do óleo de canola em uma planta piloto de funcionamento contínuo. No estudo, os autores testaram a influência de diferentes temperaturas de craqueamento (450 a 580 °C). Foram analisadas as composições do gás (C1-C4) e da gasolina (hidrocarbonetos saturados, olefinas, aromáticos). Os autores também testaram a influência do teor de oxigênio dos produtos líquidos em relação temperatura de craqueamento de 450 e 580 °C. Os experimentos mostraram que a distribuição do

produto é fortemente influenciada pela temperatura de craqueamento. Com o aumento da temperatura de craqueamento, a produção de gás, gasolina e óxidos de carbono aumentaram, enquanto a quantidade de resíduos e coque diminuiu.

De maneira geral, o craqueamento térmico é bastante simples por fazer uso somente da temperatura para que a quebra das ligações ocorra, sendo sua principal desvantagem a produção de compostos oxigenados, que deixam o produto final bastante ácido. Devido à alta reatividade dos grupos oxigenados, um dos principais problemas das frações coletadas no craqueamento térmico é a instabilidade. Portanto, torna-se necessário o estudo da desoxigenação do bio-óleo (DEMIRBAS, 2011).

Uma das maneiras de se obter produtos menos oxigenados é a utilização de catalisadores que alterem o mecanismo da reação e o direcionem para a obtenção de produtos menos oxigenados e se possível em maior quantidade e/ou seletividade dos produtos desejados.

#### 1.3.4 Craqueamento Catalítico

Diferentes técnicas de melhoramento do bio-óleo foram desenvolvidas, incluindo hidredesoxigenação, craqueamento catalítico, esterificação, emulsificação, e reforma a vapor (WANG *et al.*, 2014). A presença de catalisadores na reação de craqueamento pode favorecer determinadas reações e assim alterar a composição dos produtos finais, já que a presença destes pode facilitar ou dificultar determinadas etapas do processo. Nesse sentido, alguns estudos são desenvolvidos com o intuito de aumentar a conversão e o rendimento do produto líquido e melhorar as propriedades dos produtos.

Em suas pesquisas Melligan *et al.* (2012) realizaram o craqueamento termocatalítico do pinho escocês utilizando ZSM-5, Ni-ZSM-5, MCM-41 e Ni-MCM-41, a reação foi realizada, tanto em atmosfera inerte de hélio (He), como em atmosfera altamente redutora de hidrogênio (H<sub>2</sub>). Na atmosfera de H<sub>2</sub> foram obtidas alterações significativas nas composições. A mais notável foi o aumento nas frações de hidrocarbonetos. Observaram-se quantidades mais baixas dos compostos fenólicos de

maior peso molecular e maiores dos fenóis mais leves na presença de Ni suportado em ZSM-5 e MCM-41. Este efeito foi mais evidente para a concentração de 10% de níquel, quando comparado com a fração de 2,5%. De modo geral, os resultados demonstraram melhorias significativas na composição dos vapores, porém, constatou-se a diminuição das quantidades de produtos condensáveis.

Anos mais tarde, outros pesquisadores testaram a zeólitas hierarquizadas no craqueamento de óleos vegetais. García *et al.* (2015) usaram um processo de dessilicação por meio de tratamentos alcalinos para gerar mesoporos na zeólita Y e a aplicaram no craqueamento de biomassa (serragem de pinho) em um reator de leito fixo a 550 °C. Os autores concluíram que as zeólitas modificadas foram eficazes na desoxigenação do bio-óleo, bem como na produção de hidrocarbonetos, tendo-se destaque a seletividade para olefinas (mais de 35% em peso) e menor seletividade para aromáticos (menos de 60% em peso) na gasolina. A seletividade para as olefinas entre C4 e gasolina foi potencializada mediante o aumento da mesoporosidade, evitando a formação de coque em grande quantidade. Os autores também observaram uma melhoria na difusão de moléculas volumosas no bio-óleos, tais como éteres fenólicos.

## 2 CONCLUSÕES

É possível inferir que a potencialidade energética da biomassa depende diretamente da disponibilidade dos insumos que servem como base para produção de energia. Em relação a utilização de oleaginosas como; a soja, o milho, etc. que possuem potencialidade energética comprovada, essas fontes ainda competem com outros setores econômicos, como é o caso do setor alimentício, resultando no encarecimento do produto final. Tendo em vista o vasto mercado energético a ser explorado no Brasil, é indispensável o incentivo as pesquisas em busca de novas fontes oriundas de biomassa com potencial energético que não estejam inseridas no mercado alimentício.

### 3 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Estadual do Ceará (UECE) e a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP).

### 4 REFERÊNCIAS

ABU TAYEH, H.; NAJAMI, N.; DOSORETZ, C.; TAFESH, A.; AZAIZEH, H. Potential of bioethanol production from olive mill solid wastes. **Bioresource technology**, v. 152, p. 24-30, 2014.

ALMEIDA, V. F.; GARCÍA-MORENO, P. J.; GUADIX, A.; GUADIX, E. M. Biodiesel production from mixtures of waste fish oil, palm oil and waste frying oil: Optimization of fuel properties. **Fuel Processing Technology**, v. 133, p.152-160, 2015.

ARUN, N.; SHARMA, R. V.; DALAI, A. K. Green diesel synthesis by hydrodeoxygenation of bio-based feedstocks: Strategies for catalyst design and development. **Renewable Sustainable Energy Reviews**, v. 48, p. 240-255, 2015.

BARBOSA, M. N.; ARAUJO, A.; GALVÃO, L.; SILVA, E.; SANTOS, A.; LUZ, G.; FERNANDES, V. Carbon dioxide adsorption over DIPA functionalized MCM-41 and SBA-15 molecular sieves. **Journal Thermal Analysis Calorimetry**, v. 106, n. 3, p. 779-782, 2011.

BART, J. C. J.; PALMERI, N., C. S. **Biodiesel Science and Technology: From soil to oil**. 1 ed. Cambridge: Woodhead Publishing and CRC Press LLC, 2010. 864 p.

BOTTON, V.; RIVA, D.; SIMIONATTO, E. L.; WIGGERS, V. R.; ENDER, L.; MEIER, H. F.; BARROS, A. A. C. Craqueamento termo-catalítico da mistura óleo de fritura usado-lodo de estampanaria têxtil para a produção de óleo com baixo índice de acidez. **Química Nova**, v. 35, n. 4, p. 677-682, 2012.

BRIDGWATER, A. V. Review of Fast Pyrolysis of Biomass and Product Upgrading. **Biomass Bioenergy**, v. 38, p. 68-94. 2012.

CARVALHO, J. F. de. Energia e sociedade. **Estudos Avançados**, v. 28, n. 82, p. 25-39, 2014.

CHIARAMONTI, D.; PRUSSI, M.; BUFFI, M.; TACCONI, D. Sustainable bio kerosene: Process routes and industrial demonstration activities in aviation biofuels. **Applied Energy**, v. 136, p.767-774, 2014.

EBRAHIMI, A. A.; TARIGHI, S.; ANI, A. B. Experimental and kinetic study of catalytic cracking of heavy fuel oil over E-CAT/MCM-41 catalyst. **Kinetics and Catalysis**, v. 57, n. 5, p. 610-616, 2016.

EDUARDO, C.; MOREIRA, S. Fontes alternativas de energia renovável, que possibilitam a prevenção do meio ambiente. **Revista de Divulgação do Projeto Universidade PETROBRAS/IF Fluminense**, v. 1, p. 397-402, 2010.

FIMBERGER, J.; SWOBODA, M.; REICHHOLD, A. Thermal cracking of canola oil in a continuously operating pilot plant. **Powder Technology**, v. 316, p.535-541, 2016.

FREITAS, G. C.; DATHEIN, R. As energias renováveis no Brasil: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental. **Revista Nexos Econômicos**, v. 7, n. 1, p. 71-94, 2013.

LI, L.; WANG, X.; ZHANG, D.; GUO, R.; DU, X. Excellent adsorption of ultraviolet filters using silylated MCM-41 mesoporous materials as adsorbent. **Applied Surface Science**, v. 328, p. 26-33, 2015.

LI, L.; DING, Z.; LI, K.; XU, J.; LIU, F.; LIU, S.; GE, X., Applied Pyrolysis. **Journal of Analytical**, v. 117, p. 268–272, 2016.

LUZ, G. E.; LIMA, S. H.; MELO, A. C. R.; ARAUJO, A. S.; FERNANDES, V. J. Direct synthesis and characterization of LaSBA-15 mesoporous molecular sieves. **Journal of materials Science**, v. 45, n. 4, p.1117-1122, 2010.

MELLIGAN, F.; HAYES, M. H. B.; KWAPINSKI, W.; LEAHY, J.; MELLIGAN, F. Hydro-Pyrolysis of Biomass and Online Catalytic Vapor Upgrading with Ni-ZSM-5 and Ni-MCM-41. **Energy & Fuels**, v. 26, n. 10, p. 6080-6090, 2012.

MONTEIRO, M.; FERREIRA, M.; SANTOS, D. Energia da Biomassa. **Revista de Divulgação do Projeto Universidade PETROBRAS/IF Fluminense**, v. 3, 2013.

NARVÁEZ, P. C.; NORIEGA, M. A.; CADAVID, J. G. Kinetics of palm oil ethanolysis. **Energy**, v. 83, p. 337-342, 2015.

RAMYA, G.; SUDHAKAR, R.; JOICE, J. A. I.; RAMAKRISHNAN, R.; SIVAKUMAR, T. Liquid hydrocarbon fuels from jatropha oil through catalytic cracking technology using AIMCM-41/ZSM-5 composite catalysts. **Applied Catalysis A: General**, v. 433-434, p. 170-178, 2012.

SANTOS, A. L. F.; MARTINS, D. U; IHA, O. K.; RIBEIRO, R. A. M.; QUIRINO, R. L.; SUAREZ, P. A. Z. Agro-industrial residues as low-price feedstock for diesel-like fuel production by thermal cracking. **Bioresource Technology**, v. 101, n.15, p. 6157–6162, 2010.

SANTOS, M. R.; SALES, R. F.; SILVA, A. O. S; TEIXEIRA, C. M.; PACHECO, J. G. A.; FRE'TY, R. Flash pyrolysis of myristic acid adsorbed on supported nickel catalysts for biofuel production, **Journal Thermal Analysis Calorimetry**, v. 119, p. 1875–1885, 2015.





SOUZA, G. M.; VICTORIA, R. L.; JOLY, C. A.; VERDADE, L. M. **Bioenergy & Sustainability: bridging the gaps**. v. 72. Paris: Scope, 2015. 779 p.

TUDORACHI, N.; MUSTATA, F., Thermal degradation and evolved gas analysis of some vegetable oils using TG/FT-IR/MS technique. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 119, n. 3, p. 1703-1711, 2014.

## USO DE BORRA OLEOSA DE PETRÓLEO NA PRODUÇÃO DE ENERGIA

Cícero de S. Lima\*<sup>1</sup>, Antônio S. Araújo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciência e Tecnologia, \*e-mail: cicero.lima@uece.br.

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação de Ciência e Engenharia de Petróleo, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

**RESUMO:** As indústrias têm sido uma das principais responsáveis pela geração desses resíduos, principalmente a indústria de petróleo. A borra oleosa de petróleo é um dos principais resíduos formados durante a produção e o processamento do petróleo. O objetivo desse trabalho foi estudar a borra oleosa de petróleo e seu aproveitamento na produção de energia, através de um sistema denominado *soxhlet*, para separar a fase orgânica e a fase inorgânica dessa borra. Foi realizada uma análise elementar das duas fases e, em seguida, obteve-se o poder calorífico da fase orgânica. A borra apresentou 94% de fase orgânica e uma elevada porcentagem de átomos de carbono e hidrogênio, indicando uma baixa razão molar de carbono e hidrogênio (C/H). Essa razão pode indicar derivados de petróleo mais leves presentes nesse resíduo. A borra apresentou também um PCI de 10.178 kCal/kg, dentro da faixa do petróleo, isso significa que é um resíduo de elevado potencial energético. Logo, a borra pode ser utilizada em combustão direta ou processada no refino do petróleo.

**Palavras-chave:** Borra oleosa. Energia. Resíduo.

**ABSTRACT:** The industry has been one of the main responsible for the generation this waste, mainly the oil industry. Oil sludge is one of the main residues formed during the production and oil processing. The objective of this work was to study the oil sludge and its use in energy, production through system, called *soxhlet*, to separate the organic phase

and the inorganic phase from this sludge. An elementary analysis of the two phases was performed and then the calorific value of the organic phase was obtained. The sludge presented 94% organic phase and a high percentage of carbon and hydrogen atoms, indicating a low molar ratio of carbon and hydrogen (C/H). This reason may indicate lighter petroleum derivatives present in this residue. The sludge also presented a PCI of 10,178 kCal/kg, within the oil range, this means that it is a residue of high energy potential. Soon the sludge can be used in direct combustion or processed in oil refining.

**Keywords:** Oil sludge. Energy. Waste.

## 1 INTRODUÇÃO

A borra oleosa de petróleo, resíduo gerado nas refinarias de petróleo, é composta de metais pesados, óleos e graxas, e hidrocarbonetos totais, o que impede sua disposição no meio ambiente sem um tratamento prévio (ANDRADE *et al.*, 2014). Nas atividades de exploração e produção de petróleo e gás, é gerada uma grande variedade de resíduos sólidos e de outra natureza. As borras oleosas de maneira geral se formam durante as operações de produção, transporte, estocagem e refino do petróleo. No entanto, de acordo com sua origem, as composições encontradas podem ser bem variadas. Observando as etapas de processo de refino é possível localizar suas principais fontes e contribuições percentuais em termos de geração total de resíduos (LIMA, 2014). A proteção ao meio ambiente se dá pela diminuição ou eliminação dos resíduos sólidos gerados, que deixariam de ser incinerados ou depositados em aterros gerando possíveis contaminações. O objetivo deste trabalho foi estudar a borra oleosa de petróleo e seu aproveitamento na produção de energia.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A amostra de borra oleosa foi coletada em um campo petrolífero no Estado do Rio Grande do Norte. A extração química da borra oleosa de petróleo foi realizada num sistema de *soxhlet*, com o solvente clorofórmio. Após este processo o óleo (parte orgânica) foi armazenado em recipientes apropriados para posterior análise, bem como a parte inorgânica. A parte inorgânica foi analisada pela técnica de espectroscopia de fluorescência de raio x (FRX). Para a realização desta análise elementar (Carbono, Hidrogênio, Nitrogênio, Enxofre e Oxigênio) foi pesado aproximadamente 3 mg em uma cápsula de estanho de cada amostra de resíduo e em seguida foi colocada no amostrador automático do equipamento. O equipamento utilizado foi um analisador modelo EACHNS-O 1110 series, da marca Thermo Quest CE Instruments, utilizando o hélio como gás de arraste a 130 mL/min e como gás de queima o O<sub>2</sub> a 300 mL/min. Assim a temperatura do reator foi de 1000°C e o tempo de corrida de 420 segundos em ar sintético.

A quantidade de calor liberado durante a combustão de uma unidade de massa ou volume de um combustível à temperatura ambiente é denominada poder calorífico e pode ser dividida em duas categorias: poder calorífico superior (PCS) e poder calorífico inferior (PCI). O PCS é a soma da energia liberada na forma de calor e a energia empregada para vaporizar a água presente no material. O PCI é energia liberada na forma de calor (HILSDORF *et al.*, 2009). Para se obter o poder calorífico superior e inferior é necessário um calorímetro, mas nesse trabalho foi utilizado os dados de análise elementar das borras oleosas de petróleo para realizar o cálculo do poder calorífico, através de uma simulação de excesso de oxigênio (20-40% para combustível líquido) para realizar uma combustão (PEDROZA *et al.*, 2011).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A borra oleosa de petróleo passou por um processo de extração no sistema *soxhlet* e ocorreu a separação de componentes orgânicos (óleo) e inorgânicos (sais e óxidos), pode ser observado na Figura 1 e 2. Pode ser observado que a borra depois de extraída, fica livre de impurezas inorgânicas. A Tabela 1 apresentam dados referentes à composição química da fase inorgânica da borra oleosa de petróleo, analisadas através da técnica de fluorescência de raios x (FRX).

**Figura 1 - Fase inorgânica da borra oleosa de petróleo**



**Figura 2 - Fase orgânica da borra oleosa de petróleo**



Os componentes encontrados na borra oleosa de petróleo foram de 94,88% para a fase orgânica e 5,22% para a fase inorgânica. Na análise de FRX pode ser observado diversos componentes referentes aos reagentes inorgânicos como o bário. Isso pode está associado a sulfato de bário que é utilizado no fluido perfuração. Através da análise de FRX foi observado a presença de metal pesado (níquel) na borra, podendo ser classificados como resíduo perigoso segundo a NBR 10004. Foi observado um número expressivo de enxofre que pode está associado a contaminação no solo. Esses elementos presentes na fase inorgânica podem ter características de insolubilidade em solventes orgânicos e pode tratar se de cloretos e sulfatos. Os mesmos podem ser

provenientes dos fluidos de perfuração que tem composição química complexa ou até mesmo do solo em que o petróleo foi extraído. Após a caracterização mais detalhada dessa fase, mesma pode ser utilizada em aterros ou até mesmo na pavimentação asfáltica.

**Tabela 1 – Análise elementar da fase inorgânica presente na borra**

Amostra	% de Alumínio	% de Bário	% de Cálcio	% de Enxofre	% de Ferro	% de Níquel	% de Silício	% de Sódio
Borra	0,07	1,51	0,67	2,16	0,17	0,21	0,33	0,09

A Tabela 2 apresenta a análise elementar da fase orgânica da borra oleosa de petróleo. Pode ser observado que a maior porcentagem é para o átomo de carbono e depois hidrogênio, indicando os hidrocarbonetos está em maior quantidade na sua composição química. A diferença entre a composição química do petróleo pode variar de acordo com a sua formação geológica. A razão carbono e hidrogênio pode influenciar nos derivados do petróleo, quando o mesmo é processado. Baixa razão molar C/H pode indicar a formação de derivados mais leves e mais nobres para ser inserido no mercado. Elevada razão molar pode indicar formação de hidrocarbonetos de elevado peso molecular (hidrocarbonetos aromáticos).

**Tabela 2 – Análise elementar da fase orgânica da borra oleosa de petróleo**

Amostra	% de Carbono	% de Hidrogênio	% de Nitrogênio	% de Enxofre	% de Oxigênio	Relação C/H
Borra	87,14	11,24	0,16	*<LD	1,46	7,8

\*<LD=menor que o limite de detecção.

Na análise elementar, pode se considerar os principais componentes que é o carbono, o hidrogênio e oxigênio. A Tabela 3 apresenta os dados referente ao poder calorífero superior (PCS) e o poder calorífero inferior (PCI). A borra oleosa de petróleo

apresentou PCI de 10.178 kCal/Kg, o mesmo está dentro da faixa do petróleo puro que está na faixa de 9.700 a 11.700 kCal/Kg. Logo a borra pode ser indicada como um combustível de elevado potencial energético.

**Tabela 3 – Poder calorífico da borra oleosa de petróleo**

<b>Amostra</b>	<b>PCS (kCal/Kg)</b>	<b>PCI</b>	<b>mH<sub>2</sub>Of (kCal/kg)</b>	<b>Vf</b>
<b>Borra</b>	10.769	10.178	591	31.026

mH<sub>2</sub>Of – Massa de água nos fumos, Vf – Volume dos fumos

#### **4 CONCLUSÕES**

A extração via *soxhlet* foi eficiente, pois foi possível separar a fase orgânica da fase inorgânica. Na análise elementar foi possível perceber que a borra oleosa de petróleo pode apresentar frações leve e com isso produzir derivados de petróleo mais nobres. A borra apresentou um elevado potencial energético, pois apresentou poder calorífico na faixa do petróleo e também do óleo diesel. A borra oleosa de petróleo tratada é um resíduo que pode ser utilizado na combustão direta e também em algumas fases do processamento de petróleo.

#### **5 AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao laboratório de catálise e petroquímica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte pelo desenvolvimento da pesquisa. Cícero de Souza Lima agradece a Agência Nacional do Petróleo pela bolsa concedida.

#### **6 REFERÊNCIAS**

ANDRADE, M. R. A. Tratamento da borra oleosa de petróleo e estudo cinético do proces-

so de estabilização por solidificação. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, n. 31, p. 66-75, 2014.

COSTA, A. V.; ALMEIDA, B. R.; GONÇALVES, L. V.; CRICO, K. B.; IGNACCHITI, M. D. C.; PEREIRA JUNIOR, O. S.; PINHEIRO, P. F.; QUEIROZ, V. T. Efeito moluscicida do óleo essencial de *Cymbopogon winterianus* Jowitt (Poaceae) sobre *Lymnaea columella* (Say, 1817) e *Biomphalaria tenagophila* (D'Orbigny, 1835). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 17, n. 4, p. 707-712, 2015.

HILSDORF, J. W.; BARROS, N. D. D.; TASSINARI, C. A.; COSTA, I. **Química Tecnológica**. Portugal: Editora Thomson, 2011.

LIMA, Cícero de Souza. **Pirólise de borra oleosa de petróleo utilizando nanomateriais**. 2014. 145 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de petróleo) – Setor de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia do Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

PEDROZA, M. M.; VIEIRA, G. E. G.; PEDROZA, C. M.; RIOS, R. F. M; PICKLER, A. C; SOUSA, J. F. Características químicas e pirólise de borra de petróleo: Uma revisão. **EDUCTE Revista Científica do IFAL**, v. 1, n. 2, p. 37-46, 2011.



## VALORAÇÃO DE RESÍDUOS DA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO ATRAVÉS DA PRODUÇÃO DE BIOMASSA E BIOPRODUTOS DE *NANNOCHLOROPSIS* *OCEANICA*

Isabela V. L. de Moura<sup>1</sup>, Carine S. Silva<sup>2</sup>, Ian da S. Andrade<sup>1</sup>, Tatiana O. Vale<sup>2</sup>,  
Gabriele R. Conceição<sup>\*2</sup>, Fábio A. Chinalia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Graduação em Biotecnologia, Universidade Federal da Bahia.

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Federal da Bahia, e-mail: gabi.rodrigues29@gmail.com.

<sup>3</sup>Laboratório de Microbiologia e Bioprocessos Moacyr D. de Moura-Costa, Universidade Federal da Bahia.

**RESUMO:** Água produzida é um efluente da indústria do petróleo. As quantificações de AP descartada no Brasil esbarram na falta de informação a esse respeito. No entanto, acredita-se que, dependendo do grau de maturidade do poço, o volume de AP pode variar entre 2 a 20 vezes o volume de petróleo recuperado. A água produzida possui carga orgânica de derivados do petróleo, mas apesar desse potencial tóxico, os nutrientes inorgânicos presentes nesse efluente podem ter um maior impacto para o crescimento de microalgas que se adaptarem a esse resíduo. Portanto, o objetivo deste trabalho foi testar o crescimento de *N oceanica* em água produzida, visando definir a sua cinética de crescimento. O crescimento foi monitorado utilizando D.O. e clorofila e a concentração lipídica avaliada como produto final. A microalga cresceu em diferentes concentrações da AP (3,6% e 4,1%). No entanto, o melhor desempenho foi na concentração de 3,6% de salinidade com significativo acúmulo de lipídeo. Assim, é possível definir que existe a viabilidade do cultivo e desempenho da microalga *Nannochloropsis oceanica* em água produzida da indústria do petróleo.

**Palavras-chave:** Microalgas. Água Produzida. Bioprodutos.

**ABSTRACT:** Produced water (PW) is an effluent from the oil industry. The quantifications of PW discarded in Brazil are hampered by the lack of information in this regard. However, it is believed that, depending on the well's degree of maturity, the volume of AP can vary between 2 to 20 times the volume of oil recovered. The produced water has an organic load of petroleum derivatives however, despite this toxic potential, the inorganic nutrients present in this effluent can have an appreciable impact on the growth of those microalgae that had adapt to this residue. Therefore, the objective of this work was to test the growth of *N. oceanica* in produced water, aiming to define its growth kinetics. Microalgae growth was monitored using O.D. and chlorophyll and it had the lipid concentration evaluated as a final product. The microalgae grew in different concentrations of PW (3.6% and 4.1%). However, the best performance was in the concentration of 3.6% salinity with significant accumulation of lipid. Thus, it is possible to define that there is a viability of the cultivation and performance of the microalgae *Nannochloropsis oceanica* in produced water from the oil industry.

**Keywords:** Microalgae. Produced Water. Bioproducts.

## 1 INTRODUÇÃO

Microalgas são responsáveis por metade da atividade fotossintética global correspondendo a mais de 70% da biomassa mundial total (JORGENSEN, 2001). Por estarem adaptadas a ambientes diversos, as microalgas produzem bioprodutos que podem atender demandas da indústria alimentícia até a da energia alternativa (ANBUCHZHIAN *et. al.*, 2015). O lipídeo algal pode ser transformado em biodiesel. Porém, para se obter altos percentuais lipídicos e conseqüente maior produção de biodiesel, as microalgas requerem uma alta demanda de energia, fertilizantes e CO<sub>2</sub>, o que pode encarecer o processo e até o inviabilizá-lo economicamente. Para contornar essa situação, o uso de efluentes como meios de cultivo pode ser uma alternativa para o

barateamento do processo além de minimizarem a geração de mais resíduos (KARTHIKEYAN *et al.*, 2020).

A água produzida (AP) da indústria do petróleo é um efluente que resulta da junção da água de formação natural do poço com a água injetada no reservatório para, assim, intensificar a eficiência da extração do petróleo. Representa cerca de 80% do total de resíduos obtidos dessa produção apresentando uma alta carga de produtos orgânicos (AL-GHOUTI *et al.*, 2019). É um efluente que pode conter altas concentrações de sais e derivados de petróleo e, por isso, de difícil tratamento biológico. Se faz necessário o manejo deste resíduo antes da devolução à natureza ou do reuso, este último refere-se principalmente aos usos na área da agricultura e industrial.

Devido a carga de produtos orgânicos, a água produzida concede um ambiente que pode ser propício para o crescimento de microalgas, visto que, através da luz solar, podem utilizar nutrientes como carbono, fósforo e nitrogênio para formar bioprodutos de valor agregado como pigmentos, aminoácidos, biocombustíveis e polissacarídeos. Em vista disso, o tratamento de águas residuais por microalgas tem grande potencial de formação de bioprodutos com valor agregado além de ser um processo ambientalmente amigável, portanto, considerado uma das tecnologias mais promissoras nessa área (LI *et al.*, 2019).

O objetivo desse trabalho é testar o cultivo de microalgas em AP da indústria do petróleo. A produção de lipídeo algal utilizando AP não apenas valoriza esse resíduo, mas, também, favorece a obtenção de outros produtos como clorofila  $\alpha$ , carotenoides e nanocelulose.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A cepa de *Nannochloropsis oceanica* foi cedida do Banco de Microalgas Iracema Nascimento (BMIN) do Laboratório de Bioprospecção e Biotecnologia (LaBBiotec) da Universidade Federal da Bahia. Alíquotas da *Nannochloropsis oceanica* foram inoculadas em erlenmeyers contendo água produzida diluída às proporções de

3,6% e 4,1% de salinidade e suplementados com 600  $\mu$ L da solução principal Conway e 60  $\mu$ L da solução vitamina.

Sendo, assim, dois tratamentos em diferentes concentrações salinas (3,6% e 4,1%), ambos realizados em triplicata por 8 dias. As condições de cultivo foram fotoperíodo 12h:12h (claro:escuro), intensidade luminosa de 3500 lux, agitação 85 rpm, aeração com ar atmosférico e temperatura de  $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ . Foram realizadas análises de D.O. (680nm), pH e clorofila diariamente para acompanhamento de crescimento. Ao fim do cultivo, a biomassa das microalgas foi recuperada através da centrifugação a 5000rpm por 5 min, e posteriormente, liofilizada por 24 horas. Da biomassa liofilizada é extraída os lipídeos conforme a metodologia de Freeman (1957) baseada em clorofórmio:metanol (2:1).

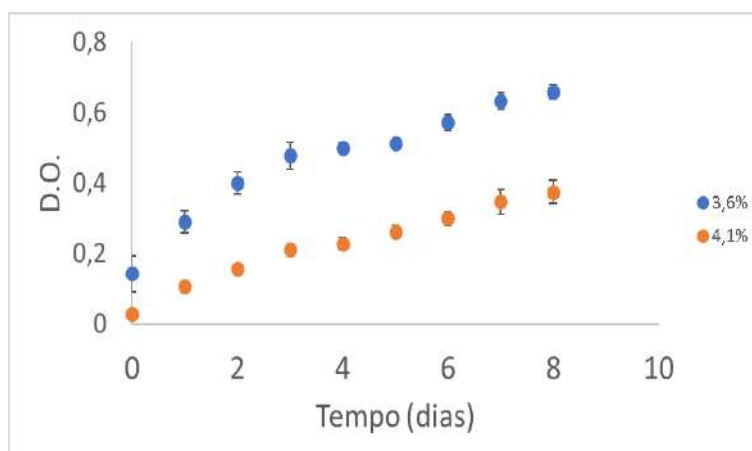
### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação dos quatro primeiros dias de crescimento da *Nannochloropsis oceanica* em AP sugere um maior crescimento na menor concentração salina, portanto, com maior diluição da água produzida (Figura 1). Ammar *et al* (2019) também reportou uma redução no crescimento microalgal de *Isochrysis galbana* e *Nannochloropsis oculata* com o aumento da concentração de água produzida utilizada para o cultivo, mas, o impacto negativo observado pelos autores foi associado a contaminantes tóxicos como metais, nutrientes e outros compostos orgânicos presentes na água produzida. Por outro lado, é possível observar que houve uma adaptação da cultura ao meio devido ao seu contínuo crescimento ao longo do experimento. É necessário realizar cultivo em meio sintético com as mesmas salinidades para identificar o real impacto da concentração salina no crescimento.

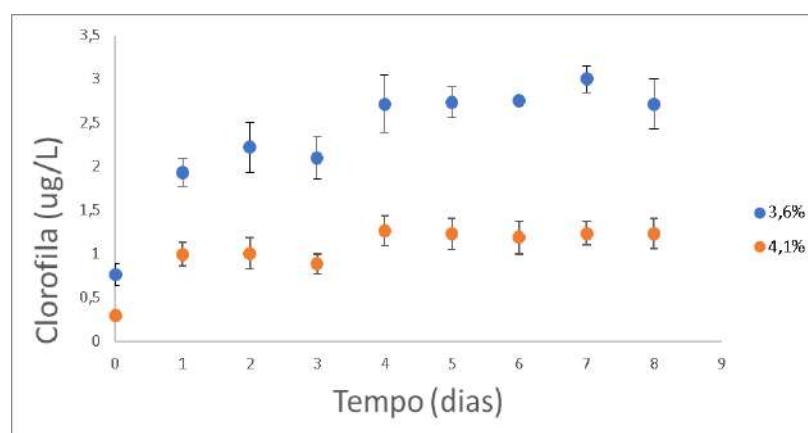
A produção de clorofila  $\alpha$  pode ser observada na Figura 2, onde a maior produção cabe ao tratamento de menor salinidade. A concentração de clorofila dobrou no cultivo com a AP de maior diluição. Pal *et al* (2011) atribuíram um efeito semelhante a concentração salina. Apesar de crescer em alta salinidade, a *Nannochloropsis oceanica*

apresenta uma maior produção de clorofila  $\alpha$  em águas com uma salinidade menor a que a encontrada na água do mar. Por esse motivo, acredita-se que o menor crescimento mostrado na Figura 1 está relacionado a concentração salina.

**Figura 1 - Crescimento de *Nannochloropsis oceanica* na água produzida (3,6% e 4,1%)**



**Figura 2 - Acúmulo de clorofila  $\alpha$  de *Nannochloropsis oceanica* na água produzida (3,6% e 4,1%)**



Em relação à percentagem de acúmulo de lipídeos, ambos os tratamentos apresentaram pouca diferença (18 e 15%, respectivamente, Tabela 1). Mitra *et al.* (2016)

estudaram o crescimento de *Nannochloropsis oceanica* e o avaliaram em quatro diferentes águas residuais obtendo um acúmulo de lipídeos de  $27.40 \pm 0.88$  na água produzida contra  $30.73 \pm 1.15\%$  no controle (Conway). Nesse presente estudo, foi obtido uma produção que equivale a aproximadamente 59,19% e 49,7% da produção de lipídeos no meio Conway, que apesar do resultado significativo, é considerado menos expressivo que o descrito por Mitra em cerca de 29,82% (3,6%) e 39,31% (4,1%) em relação ao controle (Conway). Essa discrepância poderia ser justificada pela diferença na composição das águas produzidas utilizadas em cada estudo: as concentrações de cobre (Cu), manganês (Mn) e ferro (Fe) encontradas na água produzida utilizada são maiores que as descritas por Mitra, além de arsênico (As) que é encontrado apenas na água produzida desse estudo (dados não mostrados). Metais pesados são reportados como responsáveis por inibir crescimento microalgal e atividades de fotossíntese até em pequenas concentrações (POSADAS *et al.*, 2017).

**Tabela 1 - Análise cinética nas concentrações de salinidade 3,6% e 4,1% de água produzida**

Parâmetros de cultivo	3,6% ± D.S.	4,1% ± D.S.
Produtividade de biomassa (D.O. d <sup>-1</sup> )	0,06 ± 0,00	0,04 ± 0,00
μ específico de biomassa (d <sup>-1</sup> )	0,02 ± 0,03	0,01 ± 0,02
Produtividade de clorofila (μg L <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup> )	0,30 ± 0,03	0,16 ± 0,02
μ específico de clorofila (d <sup>-1</sup> )	0,26 ± 0,01	0,22 ± 0,02
Lipídeos (%)	18,22 ± 1,10	15,30 ± 1,80

#### 4 CONCLUSÕES

Ambos os tratamentos obtiveram crescimento microalgal e acúmulo de lipídeos, porém, o tratamento de 3,6% obteve resultados ligeiramente mais expressivos em todos os parâmetros analisados. Também é importante ressaltar que a microalga *Nannochloropsis oceanica* cresceu nas duas situações testadas permitindo sugerir a

viabilidade do cultivo algal utilizando a AP da indústria do petróleo. Esse seria um processo de tratamento associado a valoração do resíduo através da obtenção de produto com valor comercial. Esse processo, portanto, sinaliza para uma redução de custos para o tratamento de AP que poderia ser descartada ou reintroduzida na formação rochosa em processos de recuperação avançada de petróleo.

## 5 AGRADECIMENTOS

Ao LaBBiotec da Universidade Federal da Bahia por prover a cepa utilizada nesse estudo. À FAPESB (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia) pelo fomento da bolsa de Iniciação Científica.

## 6 REFERÊNCIAS

AL-GHOUTI, M.; AL-KAABI, M. A.; ASHFAQ, M. Y.; DA'NA, D. A. Produced water characteristics, treatment and reuse: A review. **Journal of Water Process Engineering**, v. 28, p. 222-239, 2019.

AMMAR, S. H.; KHADIM, H.; MOHAMED, A. Cultivation of *Nannochloropsis oculata* and *Isochrysis galbana* microalgae in produced water for bioremediation and biomass production. **Environmental Technology & Innovation**, v. 10, p. 132–142, 2018.

APHA, A. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington: American Public Health Association, 1999.

ANBUCHAZHIAN; *et. al.* **Algal Biorefinery: An Integrated Approach**. 3 ed. New York: Springer, 2015.

FREEMAN, N.; LINDGREN, Y.; NICHOLS, A. Serum lipid analysis by chromatography and infrared spectrophotometry. **Journal of Biological Chemistry**. v. 277, n. 1, p. 449–464, 1957.

JORGENSEN, B. Space for hydrogen. **Nature**, v. 412, n. 6844, p. 286–289, 2001.

KARTHIKEYAN, S.; PERIYASAMY, M.; PRATHIMA, A. Biodiesel from microalgae: Environmental aspects. **Materials Today: Proceedings**, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.779>. 2020

MITRA, M.; SHAH, F.; BHARADWAJ, S. V. V.; PATIDAR, S. K.; MISHRA, S. Cultivation of *Nannochloropsis oceanica* biomass rich in eicosapentaenoic acid utilizing wastewater as nutrient resource. **Bioresource Technology**, v. 218, p. 1178–1186, 2016.

PAL, D.; KHOZIN-GOLDBERG, I.; COHEN, Z.; BOUSSIBA, S. The effect of light, salinity, and nitrogen availability on lipid production by *Nannochloropsis* sp. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 90, n. 4, p.1429–1441, 2011.

POSADAS, E.; ALCÁNTARA, C.; GARCÍA-ENCINA, P.; GOUVEIA, L.; GUIEYSSE, B.; NORVILL, Z.; ACIÉN, F.; MARKOU, G.; CONGESTRI, R.; KOREIVIENE, J.; MUÑOZ R. Microalgae cultivation in wastewater. *In*: MUÑOZ, R.; GONZALEZ-FERNANDEZ, C. (ed.). **Microalgae-Based Biofuels and Bioproducts: from feedstock cultivation to end-products**. 1. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, Cap. 3, p. 67-91.



# I SIMPÓSIO DE MEIO AMBIENTE E ENERGIA



**TRABALHOS DA ÁREA DE ENERGIA E  
DESENVOLVIMENTO SUSTENTAVEL**



## APROVEITAMENTO DO LODO DE ESGOTO PROVENIENTE DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES (ETES) PARA OBTENÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS POR PIRÓLISE: VIA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

Lucinda O. Amaro<sup>1</sup>, Cristiano D. Araújo<sup>2</sup>, Paulo F. K. Jordão<sup>2</sup>, Saul de A. Lima<sup>3</sup>,  
Tiffany de A. Fernandes<sup>4</sup>, Ana L. B. de P. Barros<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Físicas Aplicadas, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, \*e-mail: lucinda.amaro@aluno.uece.br.

<sup>2</sup>Gerência de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação Tecnológica (GEPED) – CAGECE.

<sup>3</sup>Graduação em Física, Universidade Estadual do Ceará.

<sup>4</sup>Graduação em Química, Universidade Estadual do Ceará.

<sup>5</sup>Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia.

**RESUMO:** O lodo de esgoto, uma das biomassas mais abundantes no mundo, com significativo potencial energético tem sido uma estratégia promissora na recuperação energética. Inúmeras são as condições definidas para operação de uma ETE, constituindo a Energia o segundo maior custo, portanto valorando a recuperação energética da biomassa. Destes, a pirólise, a qual trata de um processo termoquímico gerando, um gás, um bio-óleo e um biocarvão. Portanto, este trabalho, objetiva verificar tanto o potencial energético do lodo de esgoto, por pirólise, via ACV, e também avaliar ambientalmente todos os impactos gerados no processo, em uma Unidade de Bancada (Laboratorial) pertencente à CAGECE, presente no LAIS/UECE. A modelagem através do software GaBi<sup>®</sup>, analisou cinco (5) classes de impactos ambientais: Potencial de Aquecimento Global (GWP) (0,375 kg CO<sub>2</sub>Eq), Formação de Ozônio Fotoquímico (POCP) (7,08.10<sup>-6</sup> NO<sub>x</sub>eq), Material Particulado (PM<sub>2,5</sub>) (2,4.10<sup>-6</sup> kg PM<sub>2,5</sub>eq), Toxicidade Humana (TH) (0,0114 kg DCB<sub>eq</sub>) e Potencial de Eutrofização (PE) (1,05.10<sup>-6</sup>kg PO<sub>4</sub><sup>-</sup>eq), e uma conversão energética, de 11,6 MJ, referentes a uma batelada de 24 hs. Assim, verificam-se potencialidades na geração sustentável de energia a partir dessa biomassa.

**Palavras-chave** Pirólise. ACV. Lodo de Esgoto.

**ABSTRACT:** Sewage sludge, one of the most abundant biomasses in the world, with significant energy potential has been a promising strategy for energy recovery. Countless conditions are defined for the operation of a WWTP, making Energy the second highest cost, therefore valuing energy recovery. of biomass. Of these, pyrolysis, which deals with a thermochemical process generating, a gas, a bio-oil and a biochar Therefore, this work aims to verify both the energetic potential of sewage sludge, through pyrolysis, via ACV, and also to evaluate environmentally all the impacts generated in the process, in a Bench Unit (Laboratory) belonging to CAGECE, present in LAIS / UECE. In modeling using the GaBi® software, five classes of environmental impacts were analyzed, the results of which are: GWP (0.375 kg CO<sub>2</sub> eq), POCP (7.08.10<sup>-6</sup> NO<sub>x</sub> eq), PM 2.5 (2.4.10<sup>-6</sup> kg PM2.5 eq), TH (0.0114 kg DCB eq) and PE (1.05.10<sup>-6</sup> kg PO<sup>4-</sup> eq), and an energy conversion of 11.6 MJ, referring to a 24 hour batch. Thus, it is verified the existence of favorable characteristics in the generation of energy and sustainability

**Keywords:** Sewage sludge. LCA. Pyrolysis.

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, mesmo com a necessidade da população e do meio ambiente, os números do saneamento básico caminham ainda em passos lentos. A racionalização e economia de energia ainda não atingiram os sistemas de esgotos do País, particularmente suas Estações de Tratamento de Efluentes (ETE), possuem significativos custos de energia para sua operação (JORDÃO, 2014; SALGADO; ARAÚJO, 2017; SNIIS, 2018). Neste caminho, o lodo de esgoto, proveniente de ETEs ou efluentes domésticos, é uma das biomassas residuais mais abundantes em todo mundo, e que possui um significativo potencial energético (FREITAS, 2016; ROSA *et al.*, 2014 e 2016).

Desta forma, a produção de biocombustíveis do lodo tem sido uma estratégia promissora para algumas organizações (CS BIOENERGIA, 2020).

Nesse ensejo de recuperação energética, o processo de pirólise, por sua vez, tem se apresentado como uma das alternativas termoquímicas para aproveitamento do potencial calorífico existente no lodo de ETE (CALLEGARI, 2018). Este processo é definido pela degradação termoquímica que ocorre quando se aplica calor a uma substância ou material, em ausência de oxidante. Neste sentido, a pirólise é um processo endotérmico que precisa de uma fonte externa de energia (TSAMBA; YANG; BLASIAK, 2006). Este processo permite a transformação da biomassa em três frações: sólida (biocarvão), líquida (bio-óleo) e gasosa (gás de pirólise), considerando gases condensáveis da fração gasosa, reação que ocorrem entre 400 a 800 °C (ZHANG, 2015). Os rendimentos dos produtos supracitados dependem de fatores como: tipo de reator, taxa de aquecimento (temperatura e tempo) do processo e composição da matéria-prima (biomassa) (NASCIMENTO, 2015). Portanto, este trabalho, objetiva verificar tanto o potencial energético do lodo de esgoto, por pirólise, via ACV, e também avaliar ambientalmente todos os impactos gerados no processo, em uma Unidade de Bancada (Laboratorial) pertencente à CAGECE, presente no LAIS/UECE.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização do Lodo

A biomassa, o lodo de esgoto, usado como matéria-prima para conversão em energia, um resíduo sólido municipal proveniente da Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) da CAGECE, Unidade Aracapé III, localizada na região metropolitana de Fortaleza (Figura1). A Unidade de Bancada de Pirólise (Figura 2) para conversão termoquímica está instalada no Laboratórios Associados de Inovação e Sustentabilidade (LAIS), na Universidade Estadual do Ceará (UECE). A biomassa foi caracterizada preliminarmente através da análise imediata, conforme o método ASTM E 1756.

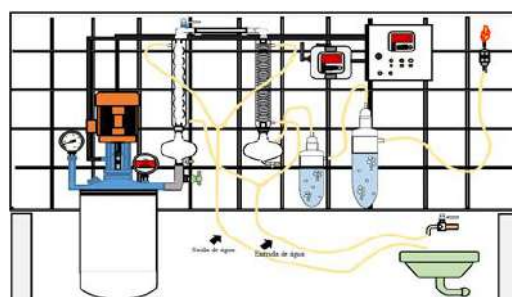
**Figura 1 - Lodo da ETE: a) Leito de Secagem b) Lodo de Esgoto (Seco)**



## 2.2 Unidade de Pirólise do Lodo de ETE

A Pirólise foi realizada em um Unidade de Bancada (Figura 2), composta por um reator de aço carbono 302, com volume útil de 7,5 litros. A biomassa processada foi de 1,0 kg a 400 °C, com taxa de aquecimento de 20 °C/min, pressão de operação de 4,0 kgf/cm<sup>2</sup> durante 20 minutos.

**Figura 2 - Unidade de Bancada (Pirólise)**



## 2.3 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do Lodo de ETE

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) ferramenta da Norma ABNT das séries ISO 14.040 a qual nesse estudo tem como escopo a interpretação dos impactos ambientais gerados via pirólise na unidade funcional de kJ energia/kg biomassa, cuja fronteira de sistema definido do tipo gate-to-gate.

A análise dos impactos ambientais gerados pelo processo em estudo foi realizada via software GaBi® (versão acadêmica). No processo completo foram considerados os fluxos de entrada e saída da unidade de pirólise, tais como adição da matéria-prima (lodo de esgoto), insumos (água, eletricidade), processo químico (reator) e operações unitárias (condensadores, lavadores de gases), e os produtos de pirólise (biocarvão, bio-óleo e o gás). Dois cenários para o estudo de ACV do processamento térmico do lodo de ETE, via pirólise rápida, foram definidos: pirólise relativa a 24 horas e 5760 horas de operação da unidade.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise imediata do Lodo de ETE é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1 – Análise Imediata do Lodo de Esgoto, conforme ASTM E 1756**

pH	T (°C)	Umidade (%m/m)	Cinzas (%m/m)	Material Volátil (%m/m)	Carbono Fixo (%m/m)
7,3	27,1	14,06	6,3	70,32	9,32

As características físico-químicas do Lodo de esgoto apresentadas acima estão condizentes com os valores médios dessa biomassa em ETEs, conforme Von Sperling (2015), com faixas de pH neutro, em temperatura ambiente a qual mantém a secagem constante. A umidade característica na faixa de 5-15%, o teor de cinzas referente ao material inorgânico ainda presente após a degradação biológica, e o material volátil presente no Lodo ainda com poder calorífico médio, 12 kJ/g de massa seca (CALLEGARI, 2018) viável à recuperação energética. Na avaliação de impactos ambientais a elaboração do inventário de análise de ciclo de vida do processo foi obtido a partir de dados experimentais, provenientes do processo executado na Unidade de Bancada (Figura 2).

A Tabela 2 (a e b) apresenta esses resultados, em dois cenários, referentes a 24 hs (cenário 1) e 5760 hs (cenário 2) de operação. De acordo com as Tabelas 2 e 3, em seus dois cenários, confirmamos a conservação de massa, de acordo com a 1ª Lei de Termodinâmica, garantindo que independente da massa do Lodo pirolisada, mantendo-se constante os parâmetros de processo, os produtos (biocarvão, bio-óleo e gás) obtidos possuem a mesma proporção, com um rendimento de 91,30% e perda térmica de 12,96%. E quanto à conversão energética, verifica-se que nos cenários distintos (24 hs e 5760 hs (1 ano útil)), a conversão energética aumenta de 30 a 80%, viabilizando o processo termoquímico, pois conforme a 2ª Lei da Termodinâmica, proporciona a recuperação energética pelo poder calorífico ainda existente na biomassa estudada. Após a modelagem, via GaBi®, obteve-se a avaliação das classes de impactos principais, conforme Tabela 3, cujos resultados mostram emissões gasosas (GWP) com reduzida contribuição na parcela da emissão dos gases do efeito estufa; minimização de danos à saúde (POCP, PM 2,5) e redução de passivo ambiental para aterros (TH, PE) com a pirólise do lodo.

**Tabela 2 – Balanços de Massa: Unidade de Bancada (a) 24 horas e (b) 5760 horas**

<b>Balanço de Massa: (a) 24 horas</b>		
<b>– Pirólise (Total)</b>		
<b>Entradas</b>		
Fluxo	Quantidade (kg)	%Total
Biomassa	1,7	0,46
Água	2	0,54
TOTAL	3,7	1
<b>Saídas</b>		
Fluxo	Quantidade	% Total
CO <sub>2</sub>	0,64	0,17

CO	0,17	0,05
CH <sub>4</sub>	0,05	0,01
H <sub>2</sub>	0,05	0,01
Rejeito	0,15	0,04
Bio-óleo	0,56	0,15
Biocarvão	0,2	0,05
TOTAL	1,82	0,49

**Balanco de Massa: (b) 5760**

**horas – Pirólise (Total)**

**Entradas**

Fluxo	Quantidade (kg)	%Total
Biomassa	408	0,46
Água	480	0,54
TOTAL	888	1

**Saídas**

Fluxo	Quantidade	% Total
CO <sub>2</sub>	152,59	0,17
CO	26,928	0,03
CH <sub>4</sub>	6,732	0,01
H <sub>2</sub>	6,732	0,01
Rejeito	61,2	0,07
Bio-óleo	134,64	0,15
Biocarvão	48,6	0,05
TOTAL	437,422	0,49



**Tabela 3 – Emissões das Classes de Impactos Ambientais**

	GWP (kg CO <sub>2</sub> eq)	PM <sub>2,5</sub> (kg PM <sub>2,5</sub> eq)	POCP (NO <sub>x</sub> eq)	TH (kg DCB eq)	PE (kg PO <sub>4</sub> <sup>-</sup> eq)
Cenário 1 (24 hs)	0,375	2,4.10 <sup>-6</sup>	7,08.10 <sup>-6</sup>	0,0114	1,05.10 <sup>-6</sup>
Cenário 2 (5760 hs)	375	2,4.10 <sup>-3</sup>	7,08.10 <sup>-3</sup>	11,4	1,05.10 <sup>-3</sup>

#### 4 CONCLUSÕES

A partir da ACV, observou-se um grau energético significativo através do processo termoquímico do Lodo oriundo de ETE, em Unidade de Bancada, sendo de 11,6 MJ, no cenário de 24hs e 9,34 GJ, no cenário de 5760hs. E emissões atmosféricas das classes de impactos principais com valores abaixo dos emitidos por combustível de natureza fóssil.

#### 5 AGRADECIMENTOS

A todos os integrantes do Laccema/LAIS/UECE e à parceria no Projeto com a CAGECE, além do suporte financeiro da Funcap.

#### 6 REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14.040:** Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009. 10 p.

CALLEGARI, A.; HLAVINEK, P.; CAPODAGLIO, A. G. Production of energy (biodiesel) and recovery of materials (biochar) from pyrolysis of urban waste sludge. **Ambiente & Água**, v. 13, n. 2, p. 1-14, 2018.

CS BIOENERGIA - **Lodo de esgoto e resíduos orgânicos viram energia na primeira usina de grande porte de biogás do Brasil**. Disponível em: <http://csbioenergia.com.br>. Acesso em: jun. 2020.

FREITAS, Lamec Sampaio de. **Modelagem da Gaseificação e da Pirólise da Casca da Castanha de Caju em Estudos de ACV na Geração de Energia**. 2016. 99 f. Dissertação (Mestrado Acadêmico em Ciências Físicas Aplicadas) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2016.

JORDÃO, E. P. Eficiência energética e tratamento de esgotos / economy of energy in wastewater treatment. **Revista DAE**, v. 177, n. 120, p. 15-19, 2008.

NASCIMENTO, Paula Fabiane Pinheiro do. **Aproveitamento de Resíduos Sólidos contendo metais originados do processo de pirólise de biomassas para adsorção de CO<sub>2</sub>**. 2015. 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2015.

NORMA **ASTM E 1756 – 08 (2020)**. “Standard Test Method for Determining of Total Solids in Biomass”. (2020) Standard Test Method for Determination of Total Solids in Biomass. West Conshohocken, PA, 2020

TSAMBA, A. J.; YANG, W.; BLASIAK, W. Pyrolysis characteristics and global kinetics of coconut and cashew nut shells. **Fuel Processing Technology**, v. 87, n. 6, p. 523 – 530, 2006.

VON SPERLING, M. **Lodo de esgoto: Tratamento e disposição final**. Volume 6, 2 ed., UFMG, 2015. 444 p.

ZHANG, J. J.; MORAWSKA, L. Combustion sources of particles: 2. Emission factors and measurement methods. **Chemosphere**, v. 49, n. 2, p. 1059–1074, 2002.

## **AValiação DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA DE MÓDULOS FOTVOLTAICOS: UMA COMPARAÇÃO ENTRE AS TECNOLOGIAS MONOCRISTALINO E FILME FINO DE CDTE**

**João G. Lássio\*<sup>1</sup>, David C. Branco<sup>1</sup>, Alessandra Magrini<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Programa de Planejamento Energético, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, \*e-mail: joao.gabriel@ppe.ufrj.br.

**RESUMO:** Sob o ponto de vista da sustentabilidade, a atual transição energética rumo as fontes renováveis de energia devem atender, além dos predominantes critérios econômicos, critérios de relevância social e prudência ecológica. Dentro deste contexto, o presente trabalho avalia a sustentabilidade do ciclo de vida de tecnologias solar fotovoltaica (FV). Para isto, emprega a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV) visando comparar os desempenhos ambiental, social e econômico de dois tipos de módulos FVs, quais sejam, monocristalino (mono-Si) e filme fino de telureto de cádmio (CdTe), segundo um total de seis critérios, sendo um par atribuído a cada dimensão. Segundo os resultados obtidos, a tecnologia de filme fino de CdTe se revelou como a opção de melhor desempenho em termos de sustentabilidade, sendo destaque nas dimensões ambiental e social. Por outro lado, a opção de mono-Si obteve um desempenho melhor entre os critérios econômicos.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade. Avaliação do Ciclo de Vida. Fotovoltaico.

**ABSTRACT:** In the context of sustainable development, the current worldwide energy transition from fossil fuels to renewable sources of energy needs to meet, besides economic criteria, environmental and social criteria. Against this background, the present work assesses the sustainability of solar photovoltaic (PV) technologies along their life

cycle. With this aim in mind, it carries out a Life Cycle Sustainability Assessment (LCSA) in order to compare the environmental, social, and economic performance of two solar PV modules, monocrystalline (mono-Si) and cadmium-telluride (CdTe) thin-film, against six criteria. According to our results, the CdTe thin-film technology appeared to be the best option for sustainability as it stood out in the environmental and social dimensions. At the same time, mono-Si technology obtained the best economic performance.

**Keywords:** Sustainability. Life Cycle Assessment. Photovoltaic.

## 1 INTRODUÇÃO

O paradigma de sustentabilidade vem estimulando uma transição energética rumo as fontes renováveis e também reivindicando uma abordagem mais equilibrada de questões socioambientais diante do domínio de aspectos econômicos. Em decorrência disto, repensar o modo hegemônico de geração de energia deve compreender critérios de relevância social e prudência ecológica. Dentre as fontes renováveis de energia mais promissoras, a energia solar fotovoltaica (FV) é uma das que mais se expandem no mundo. Somente no período 2018-19, sua oferta na matriz elétrica nacional cresceu mais de 90% (BRASIL, 2020; IEA, 2019).

Embora seja amplamente vista como uma fonte totalmente limpa, a tecnologia solar FV gera impactos e, por isso, requer um tratamento através de ferramentas e indicadores adequados às suas particularidades. Melhor exemplo disto é que a maior parte dos seus impactos não está concentrada na geração de energia, mas distribuída ao longo de sua cadeia produtiva (LAURENT *et al.*, 2017).

Com efeito, o ciclo de vida de módulos FVs tem reflexo sobre diversas questões atinentes a sustentabilidade. Para citar apenas um exemplo, alguns de seus componentes são produzidos a partir de metais, tais como as terras raras. Esses recursos minerais requerem processos industriais cujos custos ambiental e econômico são relevantes. Do ponto de vista social, sua extração envolve geralmente condições de

trabalho que desrespeitam direitos fundamentais sociais e do trabalho (PITRON, 2018; DOE, 2011). Existem outros aspectos que merecem destaques, tais como a destinação dos módulos FVs quando finalizada a sua vida útil e a necessidade de se importar para o país grande parte de seus dispositivos, exigindo uma logística mais extensa e, portanto, onerosa em termos econômicos e ambientais (RAMOS *et al.*, 2018; SARKER *et al.*, 2018).

Esse quadro evidencia que a cadeia produtiva de módulos FVs se revela não só geradora de gases de efeito estufa (GEE), como impactante em relação a outros aspectos. Diante disto, o presente trabalho integra uma pesquisa que tem por objetivo avaliar a sustentabilidade do ciclo de vida de tecnologias de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis. Para isto, emprega a Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV) visando comparar os desempenhos ambiental, social e econômico de dois tipos de módulos FVs, sendo eles monocristalino (mono-Si) e filme fino de telureto de cádmio (CdTe). Longe de questionar o papel da fonte solar FV na transição energética em curso e o interesse crescente por essa fonte, o presente trabalho pretende contribuir para a melhoria do desempenho do sistema energético futuro, se antecipando aos seus desafios potenciais e orientando as decisões do setor no sentido da sustentabilidade.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida

A ASCV é resultado da ampliação do escopo da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), restrita a temas ambientais, no sentido de cobrir também questões sociais e econômicas. É uma abordagem mais holística e, por isso, se mostra adequada tanto para os atuais imperativos de sustentabilidade quanto para o novo perfil da matriz elétrica nacional. Por um lado, é compatível com o conceito do *Triple Bottom Line* (TBL) (ELKINGTON, 1998). Por outro, é apropriada às fontes renováveis de energia com forte potencial de desenvolvimento no país uma vez que a maior parte dos seus impactos está

distribuída ao longo de suas cadeias produtivas (LAURENT *et al.*, 2017). A abordagem de ASCV fornecida por Kloepffer (2008) é a mais empregada pela literatura e requer a aplicação do trio ACV, Avaliação do Ciclo de Vida Social (ACV-S) e Custo do Ciclo de Vida (CCV).

Para avaliar e comparar a sustentabilidade das duas tecnologias FVs de mono-Si e filme fino de CdTe, o presente trabalho lança mão de uma abordagem de ciclo de vida conforme a estrutura e requisitos metodológicos fornecidos pelas normas ISO 14.040 e 14.044 (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2006). Assim, é conduzida uma avaliação dos seus desempenhos ambiental, social e econômico ao longo dos seus ciclos de vida completo e associados a geração de 1 kWh de energia elétrica dentro de um contexto nacional. Nesta análise, não são considerados o *balance of systems* (BOS), a conexão com a rede de distribuição, nem os transportes a nível nacional. Somente o transporte internacional marítimo para importação dos módulos FVs é contabilizado. Durante o período de vida útil de 25 anos, uma manutenção mínima e uma taxa de degradação para cada uma das tecnologias são levados em conta. As categorias de impacto selecionadas estão relacionadas na Tabela 1. As informações referentes aos fluxos de entrada e de saída dos processos correspondem a dados secundários provenientes da base de dados *Ecoinvent 3.0* (WEIDEMA *et al.*, 2013). Tais informações foram, quando necessário e possível, modificadas de modo a melhor refletir o contexto brasileiro. Os resultados referentes as dimensões ambiental e social foram obtidos junto ao software SimaPro por meio do método *IMPACT 2002+* (HUMBERT *et al.*, 2012), enquanto aqueles relativos à dimensão econômica calculados com base na literatura disponível.

**Tabela 1 – Categorias de impactos selecionadas**

Categoria	Indicadores	Unidade
<i>Ambiental</i>		
Qualidade do ecossistema	Acidif./eutrof. aquática, acidif./nutrif. terrestre, ecotoxicidade aquática e terrestre, e uso do solo	PDF·m <sup>2</sup> ·y
Aquecimento global	Aquecimento global	Kg CO <sub>2eq.</sub>

### *Econômico*

Período de payback	Período de geração de energia elétrica necessário para compensar os custos financeiros	Anos
Custo nivelado de energia (LCOE)	Custo da energia gerada ao longo da vida útil do módulo FV	R\$

### *Social*

Longevidade e saúde humana	(não-)carcinogênicos, respiratórios (in)orgânicos, radiação ionizante e depleção da camada de ozônio	DALY
Equidade intergeracional	Consumo de recursos energéticos fósseis e recursos minerais	MJ

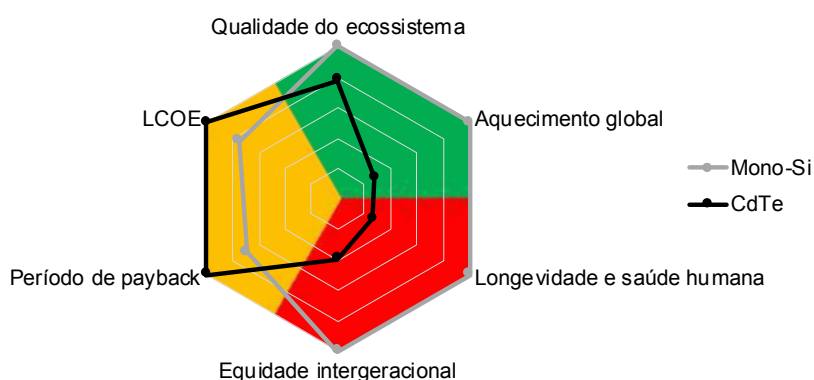
## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos, a tecnologia FV de filme fino de CdTe apresentou o melhor desempenho ambiental nas duas categorias de impactos consideradas (*Qualidade do ecossistema e Aquecimento global*). Para ambas as opções tecnológicas, a etapa de produção foi dominante. No que diz respeito mais especificamente a categoria relativa ao *Aquecimento global*, o módulo FV de mono-Si está associado a 40 gCO<sub>2eq</sub>/kWh, enquanto o de filme fino de CdTe a 11 gCO<sub>2eq</sub>/kWh. Analogamente a dimensão ambiental, a tecnologia FV de filme fino de CdTe se revelou como aquela de melhor desempenho social.

Cabe mencionar que ao requisitar o emprego de materiais tóxicos (Cd e Te), a opção de filme fino dominou, no entanto, os indicadores relativos a carcinogênicos da categoria de impacto *Longevidade e saúde humana*. Os resultados relativos à categoria de impacto *Equidade intergeracional* vão ao encontro de resultados e relatos da literatura especializada, na qual a opção mono-Si requer, via de regra, duas vezes mais recursos minerais do que o filme fino de CdTe. Por fim, a tecnologia FV mono-Si não só requer um menor período de geração de energia elétrica para compensar os custos financeiros como dispõe do menor *Custo nivelado de energia* (LCOE). Adotando pesos iguais para

os critérios considerados, é possível plotar os desempenhos de ambas as tecnologias sob um formato Gráfico de modo a subsidiar a interpretação dos resultados, conforme ilustrado pela Figura 1. Quanto mais próximo de 1,0 pior é desempenho da tecnologia com relação ao respectivo critério. Assim, observamos que a opção filme fino CdTe parece ser aquela relativamente menos impactante, sendo, portanto, mais sustentável quando comparada com o mono-Si.

**Figura 1 – Ilustração do desempenho dos módulos FVs em termos de sustentabilidade**



#### 4 CONCLUSÕES

O presente trabalho empregou a ASCV visando comparar os desempenhos ambiental, social e econômico de dois tipos de módulos FVs, mono-Si e filme fino de CdTe. Seus resultados indicaram um melhor desempenho ambiental e social para o filme fino de CdTe, enquanto o mono-Si se destacou nos critérios econômicos. De um modo geral, apesar de se caracterizar como uma ferramenta incipiente que carece ainda de uma metodologia padronizada e amplamente aceita, a ASCV se mostrou como um recurso valioso para uma análise mais holística e com um elevado potencial em apoiar a tomada de decisão do setor energético orientada pela sustentabilidade. Cabe ainda ressaltar que o presente ensaio deve ser aprimorado de modo a cobrir outras questões



de sustentabilidade, considerar sistemas FVs em toda a sua completude, expandir a análise para outras tecnologias FVs e aprimorar a etapa de interpretação de resultados.

## 5 REFERÊNCIAS

BRASIL. **Balço Energético Nacional 2020: Ano Base 2019**. Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Rio de Janeiro: EPE, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>

DOE. **Critical Materials Strategy**. Department of Energy of United States, 2011.

ELKINGTON, J. **Cannibals with forks: The triple bottom line of sustainability**. New York: New Society Publishers, 1998. 407 p.

HUMBERT, S.; SCHRYVER, A. D.; BENGUA, X.; JOLLIET, O. **Impact 2002+: user guide, Draft for version Q2.21**. Quantis Sustainability counts, 2012. 45 p,

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **World Energy Outlook 2019**. Página modificada em nov. 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>.

ISO - INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 14.040: Environmental management – Life Cycle Assessment: Principles and framework**. Geneva: Iso Copyright Office, 2006. 20 p.

KLOEPFFER, W. Life cycle sustainability assessment of products. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 13, n. 2, p. 89-95, 2008.

LAURENT, A.; ESPINOSA, N.; HAUSCHILD, M. Z. LCA of energy systems, *In*: HAUSCHILD, M. Z.; ROSENBAUM, R. K.; OLSEN, S. I. **Life Cycle Assessment: Theory and Practice**. Switzerland: Spinger, 2017. p. 633-668

PITRON, G. **La guerre des métaux rares: la face cache de la transition énergétique et numérique**. Paris: LLL - Lês Liens Qui Libèrent, 2018. 296 p.

RAMOS, C.; RUIZ, E. T. N. F.; BICALHO, F. W.; BARBOSA, J. M.; BARROS, L. V.; RABASSA, M. M. M. **Cadeia de valor da energia solar fotovoltaica no Brasil**. Brasília: Sebrae, 2018. 364 p.

SARKER, P.; ISLAM, M.; PAUL, A.; GHOSH, S. Solar Photovoltaic Power Plants: Necessity and Techno-Economical Development. **Renewable Energy and the Environment**, p. 41-69, 2018.



WEIDEMA, B.; BAUER, C.; HISCHIER, R.; MUTEL, C.; NEMECEK, T.; REINHARD, J.; VADENBO, C.; WERNET, G. **Overview and methodology**: data quality guideline for the Ecoinvent database. 3 ed. Gallen: The ecoinvent Centre, 2013. 169 p.

## AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES DE TRAÇÃO E FLEXÃO DE COMPÓSITOS DE ABS RECICLADO REFORÇADOS COM TECIDOS DE FIBRAS DE JUTA

Meire N. Hosokawa\*<sup>1</sup>, Jane M. F. de Paiva<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, Universidade Federal de São Carlos, Campus Sorocaba, \*e-mail: meirehosokawa@gmail.com.

<sup>2</sup>Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia de Produção, Campus Sorocaba.

**RESUMO:** Os compósitos utilizando materiais reciclados desempenham um papel importante no desenvolvimento da tecnologia, pois possibilitam a reinserção destes materiais na cadeia produtiva. Neste trabalho, foi realizado um estudo comparativo nas propriedades mecânicas de compósitos de ABS reciclado reforçados com três tipos comerciais de tecidos bidirecionais: juta trama simples (Tecido 1); juta trama dupla (Tecido 2); e juta/algodão (Tecido 3). O método de moldagem foi via compressão a quente e a partir dos moldados foram confeccionados os corpos de prova e, em seguida, submetidos a ensaios mecânicos de tração e flexão. O compósito contendo uma camada do Tecido 3 foi o que apresentou maior resistência à tração ( $39,41 \pm 2,14$  MPa), um aumento de 21% em comparação com a matriz, na qual o valor foi de  $32,56 \pm 1,14$  MPa. Em relação ao ensaio de flexão, o compósito contendo uma camada do Tecido 2 e o compósito contendo uma camada do Tecido 3 foram os que apresentaram os melhores resultados de resistência à flexão ( $76,90 \pm 3,66$  MPa e  $76,02 \pm 1,63$  MPa, respectivamente) em comparação com a matriz reciclada ( $64,80 \pm 3,75$  MPa).

**Palavras-chave:** Polímero reciclado. Compósitos. Fibras naturais.

**ABSTRACT:** Fiber-reinforced polymer composites using recycled materials contribute to development of technology, ensuring its reinsertion into the production chain. In this work,

a comparative study was carried out on the mechanical properties of recycled ABS composites reinforced with three commercial types of bidirectional fabrics: simple weft jute (Tecido 1); double weft jute (Tecido 2); and jute/cotton (Tecido 3). The composites were processed by hot compression molding and, then, specimens obtained were subjected to the tensile and flexural tests. The composite containing a layer of Tecido 3 showed the highest tensile strength ( $39.41 \pm 2.14$  MPa), an increase of 21% compared to recycled ABS matrix ( $32.56 \pm 1.14$  MPa). In relation to flexural properties the composite containing a layer of Tecido 2 and the composite containing a layer of Tecido 3 showed the best results in flexural strength ( $76.90 \pm 3.66$  MPa and  $76.02 \pm 1.63$  MPa, respectively) compared to the recycled matrix ( $64.80 \pm 3.75$  MPa).

**Keywords:** Recycled Polymer. Composites. Natural fibers.

## 1 INTRODUÇÃO

Os níveis crescentes de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (REEE) e descarte de forma inadequados tem causado enorme preocupação, pois representam riscos significativos ao meio ambiente e à saúde humana. Devido à considerável quantidade de materiais poliméricos presentes nos REEE, pesquisas relacionadas a reciclagem desse tipo de material têm sido vistas como uma alternativa para atender as demandas da sociedade e de legislações. Além disso, quando o material é reprocessado há menor consumo de energia para sua produção, menor quantidade de matéria-prima virgem é extraída, menores consumos de recursos naturais e emissão de gás carbônico para o ambiente (CAMPOLINA *et al.*, 2017). Entretanto, durante o reprocessamento dos materiais poliméricos, podem ocorrer reações de degradação do polímero que podem afetar as propriedades finais em serviço, como a diminuição na resistência mecânica (SCAFFARO; BOTTA; DI BENEDETTO, 2012). Neste caso, uma alternativa para tentar mitigar esse problema é combinar o polímero reciclado com um material de reforço, como as fibras por exemplo.

Uma possibilidade viável é adicionar fibras de origem vegetal ou lignocelulósicas como reforços em polímeros reciclados, já que além da redução dos resíduos plásticos, há também o aproveitamento das propriedades das fibras vegetais em substituição às fibras sintéticas, pois as fibras vegetais causam menor desgaste em ferramentas, apresentam menor custo, baixa densidade e maior resistência específica. Fibras lignocelulósicas como sisal, juta, coco, bagaço de cana-de-açúcar, bambu, curauá, entre outras, têm atraído a atenção de pesquisadores de vários países em função da facilidade de obtenção e por possibilitarem acréscimos em valores de propriedades mecânicas de vários polímeros termorrígidos e termoplásticos (AL-MAADEED; LABIDI, 2014; MARGOTO *et al.*, 2020). Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi realizar a moldagem e avaliação de propriedades mecânicas de tração e flexão de compósitos de ABS reciclado reforçados com três tipos de tecidos bidirecionais de fibras de juta, comparando os resultados dos compósitos moldados com a matriz polimérica reciclada.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Para a moldagem foi utilizada a matriz polimérica de copolímero ABS reciclado, fornecido por uma empresa situada na cidade de Sorocaba/SP, a qual coleta as peças descartadas dos equipamentos eletrônicos e realiza um pré-processamento para transformar o copolímero em pellets. Os tecidos de fibras de juta (Figura 1) foram adquiridos no mercado brasileiro, na forma de tecido bidirecional (*plain weave*). Utilizou-se três tipos de tecidos: Tecido 1 (Juta, gramatura  $365 \text{ g.m}^{-2}$ ,  $4,5 \text{ cordões.cm}^{-1}$ ); Tecido 2 (Juta, gramatura  $445 \text{ g.m}^{-2}$ ,  $6,0 \text{ cordões.cm}^{-1}$ ); e Tecido 3 (Juta/Algodão, gramatura  $360 \text{ g.m}^{-2}$ ,  $7,0 \text{ cordões.cm}^{-1}$  de juta orientados a  $0^\circ$  e  $7,5 \text{ cordões.cm}^{-1}$  de algodão orientados a  $90^\circ$ ).

**Figura 1 – Tecidos de fibras de juta: Tecido 1 (a); Tecido 2 (b); Tecido 3 (c)**



(a)



(b)



(c)

## 2.2 Moldagem dos materiais

Os tecidos foram cortados nas dimensões dos moldes para tração (127 mm x 248 mm) e flexão (160 mm x 180 mm). O ABS reciclado foi pesado em uma balança analítica; metade da quantidade pesada foi inserida no molde e depois foi acomodado o tecido de juta, completando o molde com o restante da matriz, formando uma estrutura do tipo “sanduíche”. Os compósitos foram moldados pelo método de compressão a quente, utilizando uma prensa hidráulica com aquecimento a 200 °C, por 30 minutos com força de moldagem de 6 toneladas. Na sequência, foram deixados resfriar até atingir a temperatura ambiente, quando as placas foram desmoldadas. As espessuras das placas moldadas foram de 3 mm para o ensaio de tração e 5 mm para o ensaio de flexão.

## 2.3 Ensaios mecânicos

Para os ensaios de tração (ASTM D3039) foram cortados corpos de prova nas dimensões de 250 mm x 25 mm, e testados em máquina universal de ensaios mecânicos com célula de carga de 2000 kgf e velocidade de 2,0 mm.min<sup>-1</sup>. Para os ensaios de flexão de três pontos (ASTM D790) foram utilizados corpos de prova nas dimensões de 127 mm x 12,7 mm, célula de carga de 500kgf e velocidade de 2,2 mm.min<sup>-1</sup>.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores médios das propriedades correspondentes a 10 corpos de prova de cada compósito ensaiado através do ensaio mecânico de tração.

**Tabela 1 – Resultados médios do ensaio de tração da matriz de ABS reciclado e dos compósitos contendo tecidos de fibras de juta**

Material	Resistencia à tração (MPa)	Deformação máxima (mm)	Módulo de elasticidade (MPa)
ABS	32,56±1,14 <sup>c*</sup>	5,04±0,18 <sup>a</sup>	1213,15±95,12 <sup>b</sup>
ABS/Tecido 1	31,00±2,99 <sup>c</sup>	3,87±0,27 <sup>bc</sup>	1407,60±149,07 <sup>b</sup>
ABS/Tecido 2	35,65±2,14 <sup>b</sup>	3,61±0,31 <sup>c</sup>	2271,04±198,00 <sup>a</sup>
ABS/ Tecido 3	39,41±2,14 <sup>a</sup>	4,04±0,20 <sup>b</sup>	2161,59±355,15 <sup>a</sup>

\*Médias que não compartilham a mesma letra são significativamente diferentes (Teste de Tukey com p-valor < 0,05).

De acordo com a Tabela 1 a resistência à tração do compósito contendo o Tecido 1 foi similar à do ABS reciclado cujos valores foram 31,00 ± 2,99 MPa e 32,56 ± MPa, respectivamente, ambos pertencendo ao grupo “c”. Já para os compósitos contendo os Tecido 2 e Tecido 3, os valores de resistência a tração foram 35,65 ± 2,14 MPa e 39,41 ± 2,14 MPa, respectivamente, onde observou-se que a resistência a tração aumentou devido a maior quantidade de cordões por centímetro, que auxiliaram durante o esforço longitudinal.

Os valores de deformação máxima dos compósitos diminuíram em relação à matriz (5,04 ± 0,18 mm), ou seja, ocorreram decréscimos de 23,2% (3,87 ± 0,27 mm) para o compósito contendo o Tecido 1, 28,0% (3,61 ± 0,31mm) para o compósito contendo o Tecido 2 e 19,8% (4,04 ± 0,20mm) para o compósito contendo o Tecido 3. Houve aumento de até 87,2% no módulo de elasticidade em tração dos compósitos em relação

ao ABS reciclado, o qual é influenciado pelo alto módulo de elasticidade das fibras (LUZ; GONÇALVES; DEL'ARCO JR, 2006). A Tabela 2 apresenta os valores médios das propriedades correspondentes a 10 corpos de prova de cada compósito ensaiado através do ensaio mecânico de flexão.

**Tabela 2 – Resultados médios do ensaio de Flexão da matriz de ABS reciclado e dos compósitos contendo tecidos de fibras de juta**

Material	Resistência a flexão (MPa)	Deformação máxima (mm)	Módulo de elasticidade (MPa)
ABS	64,80±3,75 <sup>c*</sup>	8,50±1,24 <sup>a</sup>	2628,01±180,76 <sup>a</sup>
ABS/Tecido 1	70,82±3,48 <sup>b</sup>	8,27±1,38 <sup>a</sup>	3008,73±156,70 <sup>a</sup>
ABS/Tecido 2	76,90±3,66 <sup>a</sup>	8,43±0,97 <sup>a</sup>	3205,60±202,79 <sup>a</sup>
ABS/Tecido 3	76,02±1,63 <sup>a</sup>	8,77±0,95 <sup>a</sup>	3151,88±150,41 <sup>b</sup>

\*Médias que não compartilham a mesma letra são significativamente diferentes (Teste de Tukey com p-valor < 0,05).

De acordo com a Tabela 2, houve aumento na resistência à flexão de todos os compósitos em relação ao ABS reciclado. Os valores foram 64,80 ± 3,75 MPa para o ABS reciclado, 70,82 ± 3,48 MPa para o compósito contendo o Tecido 1, 76,90 ± 3,66 MPa para o compósito contendo o Tecido 2 e 76,02 ± 1,63 MPa para o compósito contendo o Tecido 3, indicando que a quantidade de fibras favoreceu a maior resistência a flexão. Já a deformação máxima em flexão se manteve praticamente a mesma tanto para a matriz quanto para os compósitos.

#### 4 CONCLUSÕES

O compósito de matriz ABS reciclado com uma camada do Tecido 3, que contém algodão, além de fibras de juta, apresentou melhor desempenho em relação às propriedades de tração e flexão, pois esse tecido possui maior quantidade de cordões



por centímetro. Adicionalmente, o algodão atuou como um elemento de reforço adicional, auxiliando no alinhamento dos cordões de fibras de juta.

## 5 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES - Código de Financiamento 001) e da empresa *Sintronics*.

## 6 REFERÊNCIAS

AL-MAADEED, M. A.; LABIDI, S. Recycled polymers in natural fibre-reinforced polymer composites. *In*: HODZIC, A.; SHANKS, R. **Natural Fibre Composites**. 1 ed. Elsevier, cap. 4, p. 103–114, 2014.

CAMPOLINA, J. M.; SIGRIST, C. S. L.; de PAIVA, J. F.; NUNES, A. O.; MORIS, V. da S. A study on the environmental aspects of WEEE plastic recycling in a Brazilian company. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 22, n. 12, p. 1957–1968, 2017.

LUZ, S. M. da; GONÇALVES, A. R.; DEL'ARCO JR, A. P. Microstructure and mechanical properties of polypropylene composites reinforced with cellulose from sugarcane bagasse and straw. **Matéria**, v. 11, n. 2, p. 101–110, 2006.

MARGOTO, O. H.; DO PRADO, K. de S.; MERGULHÃO, R. C.; MORIS, V. A. da S.; DE PAIVA, J. M. F. Mechanical and thermal characterization of jute fabric-reinforced polypropylene composites: effect of maleic anhydride. **Journal of Natural Fibers**, p. 1–13, 2020.

SCAFFARO, R.; BOTTA, L.; DI BENEDETTO, G. Physical properties of virgin-recycled ABS blends: Effect of post-consumer content and of reprocessing cycles. **European Polymer Journal**, v. 48, n. 3, p. 637–648, 2012.

## DESENVOLVIMENTO DE MATERIAL BIOADSORVENTE A PARTIR DA CARBOXIMETILAÇÃO DA GOMA DO CAJUEIRO

Wesithon A. Lima\*<sup>1</sup>, Micaele F. Lima<sup>2</sup>, Henety N. Pinheiro<sup>1</sup>, Flávia O. M. S. Abreu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduação em Química, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, \*e-mail: wesithon.auday@aluno.uece.br.

<sup>2</sup>Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia.

**RESUMO:** A utilização de polímeros naturais para tratamento de água tem sido proposta nos últimos anos, devido a suas boas propriedades adsorptivas. A goma do cajueiro é um polissacarídeo de fácil obtenção e de grande abundância no nordeste brasileiro. Nesse trabalho, foi obtida a goma do cajueiro e modificou-se sua estrutura através de carboximetilação a fim de avaliar a adsorção de íons cobre. Avaliou-se a influência da quantidade relativa de ácido cloroacético no grau de substituição do derivativo funcional. Determinou-se o grau de substituição dos grupos carboximéticos por titulação potenciométrica e determinou-se a capacidade adsorptiva e o potencial de adsorção de íons cobre por titulações complexométricas. Os resultados obtidos revelaram um percentual de substituição de 45,04% e 38,44% para as amostras 3:1 e 6:1 respectivamente. A capacidade adsorptiva e o percentual de remoção das amostras 3:1 e 6:1 foram respectivamente, 93,34% e 87,85%. Desta forma, observou-se que a goma do cajueiro carboximetilada com grau de substituição de 45,04% apresentou uma expressiva capacidade de remoção de cobre, sendo promissora para adsorver metais pesados.

**Palavras-chave:** Goma. Carboximetilação. Adsorção.

**ABSTRACT:** The use of natural polymers for water treatment has been proposed in recent years, due to its good adsorptive properties. Cashew gum is a polysaccharide that

is easy to obtain and highly abundant in northeastern Brazil. In this work, cashew gum was obtained and its structure was modified through carboxymethylation in order to evaluate the adsorption of copper ions. The influence of the relative amount of chloroacetic acid on the degree of substitution of the functional derivative was evaluated. The degree of substitution of the carboxymethyl groups by potentiometric titration was determined and the adsorptive capacity and the potential for adsorption of copper ions by complexometric titrations were determined. The results obtained revealed a replacement percentage of 45.04% and 38.44% for samples 3: 1 and 6: 1 respectively. The adsorptive capacity and the percentage of removal of the 3: 1 and 6:1 samples were 93.34% and 87.85%, respectively. Thus, it was observed that the carboxymethylated cashew gum with a degree of substitution of 45.04% showed an expressive copper removal capacity, being promising to adsorb heavy metals.

**Keywords:** Gum. Carboxymethylation. Adsorption.

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de diversos polímeros naturais têm sido cada vez mais presente no auxílio em tratamento de água em abastecimento. Segundo Silva (1999), o sulfato de alumínio, usado no tratamento de água, dependendo da dosagem é tóxico e pode provocar doenças de demência e coordenação motora, devido à deficiência renal em filtrar os metais do sangue que é levado ao cérebro, como Alzheimer e Parkinson.

Segundo Silva (2013), a goma do cajueiro tem inúmeras utilidades comerciais: fabricação de cola para papel e madeira, estabilização da espuma da cerveja, conservação de sabor dos alimentos industrializados, preservação de cristais de açúcar nas indústrias de sorvete, com o objetivo de evitar o seu descongelamento rápido. Acredita-se, no entanto, que seu maior potencial de utilização seja na indústria farmacêutica, onde é usada na fabricação de capsulas e comprimidos, servindo como aglutinante de seus componentes (SILVA, 2013). Este projeto tem o intuito de testar a

goma do cajueiro modificada como um polímero bioadsorvente de metais, onde seria utilizado no tratamento de água e seria uma forma mais barata do que os vários polímeros utilizados, pois é encontrado com facilidade por todo nordeste brasileiro (LIMA *et al.*, 2007).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Purificação do exsudato para goma do cajueiro

A metodologia seguida para a purificação do exsudato foi a Rodrigues *et al.* (1993), mesma utilizada pela EMBRAPA. Inicialmente foi preparada uma solução de 10% de exsudato, onde foi deixada em agitação magnética por 48 horas para a completa dissolução, a seguir a solução foi filtrada e neutralizada, após isso a solução foi precipitada com a adição de álcool etílico absoluto. O precipitado foi filtrado e lavado com álcool e acetona. Após este processo obteve-se a goma isolada com rendimento aproximado de 70%.

### 2.2 Carboximetilação da goma do cajueiro

Para carboximetilar a goma na proporção 3:1, foi necessário pegar 1,5 g da goma purificada e foi adicionado 5 mL de água destilada. Após adicionar a água destilada, foi acrescentado 16 mL de NaOH  $10 \text{ molL}^{-1}$  e 4,5 g de ácido cloroacético e deixado aquecer por 3 horas em  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ . Para a proporção 6:1, foi repetido todo o processo anterior, mas foi adicionado 9 g de ácido cloroacético, ao invés de 4,5 g. Foi deixado rotacionando com um agitador magnético até esfriar e foi ajustado o pH da solução para 7,0 novamente com NaOH  $0,1 \text{ molL}^{-1}$ . A metodologia seguida foi a de Silva *et al.* (2009). A solução foi precipitada com álcool metílico e o precipitado foi seco em uma estufa à  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 2.3 Titulação para determinar o grau de substituição da goma do cajueiro

Para determinação do grau de substituição foi utilizado a metodologia adaptada de Silva *et al.* (2004). Foi feita uma titulação potenciométrica utilizando um pHmetro e o NaOH - 0,097 mol/L como o titulante a fim de observar os pontos de viragem. O GS foi calculado a partir de uma fórmula que consta na equação 1:

$$GS(\%) = \frac{162x(VNaOH1xCNaOH)}{mCGC - 58x(VNaOH2xCNaOH)} \times 100 \quad (1)$$

Onde VNaOH1 e VNaOH2 são respectivamente o volume de hidróxido de sódio gasto nos dois pontos de viragem, mCGC é a massa (g) de carboximetil goma do cajueiro utilizada, e 162 e 58 são respectivamente a massa molar da unidade repetitiva da goma do cajueiro, galactose e grupos carboximetílicos.

### 2.4 Determinação da capacidade de adsorção da goma do cajueiro carboximetilada

Para determinar a capacidade de adsorção da goma do cajueiro pura e da carboximetilada em suas devidas proporções de ácido monocloroacético, foi feita uma titulação complexiométrica, onde foi utilizado uma solução de  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  0,5 molL<sup>-1</sup>. Essa solução foi dividida em oito béqueres contendo 40 mL da mesma. Após isso, os béqueres foram separados em três grupos, um contendo dois béqueres e os demais com três béqueres em cada. No grupo um, foi adicionado 0,1 g da goma do cajueiro pura, no grupo dois, foi adicionado 0,1 g da goma do cajueiro carboximetilada 3:1 e no grupo 3, foi adicionado 0,1g da goma do cajueiro carboximetilada 6:1.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O grau de substituição da goma do cajueiro, bem como a capacidade adsortiva dos materiais constam na Tabela 1. Observou-se que o grau de substituição foi maior na

goma do cajueiro carboximetilada usando a proporção 3:1 de ácido monocloroacético do que na proporção 6:1. Provavelmente, o excesso de ácido monocloroacético favoreça a formação de reações concorrentes, o que acabou causando a redução no grau de substituição.

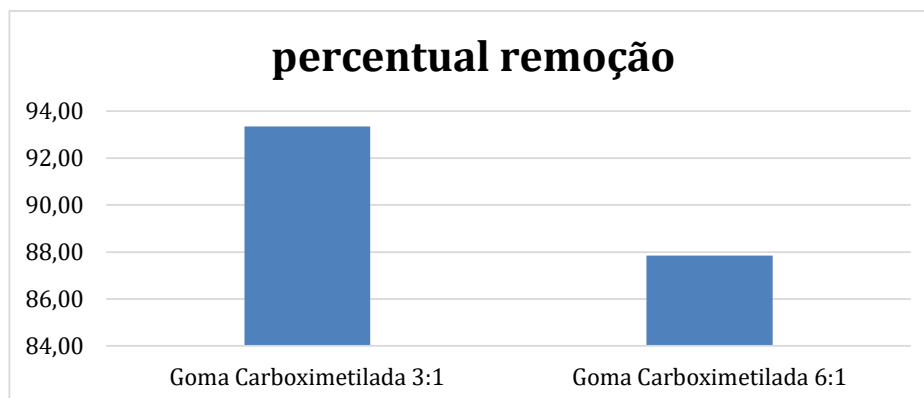
**Tabela 1 – Porcentagem do grau de substituição e capacidade adsortiva da goma do cajueiro carboximetilada**

	<b>Grupos ácidos (%)</b>	<b>Grau de substituição (%)</b>	<b>Capacidade adsortiva (mg Cu/g amostra)</b>
<b>CGCM 3:1</b>	65,80%	45,04%	182,81
<b>CGCM 6:1</b>	59,20%	38,44%	168,53

Fonte: Elaborado pelos autores.

A capacidade de adsorção está presente na Tabela 1. Observou-se que a capacidade de adsorção do cobre foi maior para a goma de cajueiro produzida com a proporção 3:1 de ácido cloroacético. Isso pode ter ocorrido por conta do grau de substituição, que é maior na goma carboximetilada 3:1 e com isso, como existem uma quantidade maior de grupos carboximéticos, pode causar um aumento na capacidade adsortiva. A porcentagem de remoção de íons cobre consta na Figura 1. Observou-se um percentual de remoção de 88% para GGM 6:1 e 94% para GCM 3:1. Ambos apresentaram resultados notáveis, porém a GCM 3:1 seria uma ótima escolha como adsorvente de metais pesados no tratamento de água, por conta de sua relação custo-benefício, uma vez que sua síntese envolve menor consumo de reagentes, maior grau de substituição e maior percentual de remoção de íons cobre.

Figura 1 - Percentual de remoção



Fonte: Elaborado pelos autores.

#### 4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, a utilização da goma do cajueiro carboximetilada como bioadsorvente de metais pesados no tratamento de água seria uma alternativa viável, pois é uma goma extraída do Cajueiro, árvore de grande ocorrência natural no Nordeste brasileiro. A goma do cajueiro foi purificada e modificada com sucesso. Dentre os produtos obtidos, a goma do cajueiro carboximetilada com proporção 3:1 mostrou um maior grau de substituição e uma maior capacidade de adsorver o cobre. Como se utilizaria menos reagentes para modificar a goma do cajueiro carboximetilada 3:1, quando comparada com a de proporção 6:1, ela se mostra um ótimo substituto da quitosana já que é muito mais fácil e barato de produzi-la e não há necessidade de importação como ocorre com a quitosana e poderia ser utilizada como bioadsorvente, já que também mostrou uma grande capacidade de adsorver metais.

## 5 REFERÊNCIAS

- LIMA, V. C.; MELO, V. F. Formação do solo. *In*: LIMA, V. C.; de LIMA, M. R.; MELO, V. de F. **O solo no meio ambiente**: abordagem para professores do ensino fundamental e médio e alunos do ensino médio. Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007. cap. 1, p. 11-16.
- OLIVEIRA, E. F.; PAULA, H. C. B.; PAULA, R. C. M. Alginate/cashew gum nanoparticles for essential oil encapsulation. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**. v. 113, p. 146-151, 2014.
- OLIVEIRA, E. E.; SILVA, A. E.; JÚNIOR, T. N.; GOMES, M. C. S.; AGUIAR, L. M.; MARCELINO, H. R.; ARAÚJO, I. B.; BAYER, M. P.; RICARDO, N. M. P. S ; OLIVEIRA, A. G.; EGITO, E. S. T. Xylan from corn cobs, a promising polymer for drug delivery: Production and characterization. **Bioresource Technology**, n. 101, p. 5402-5406, 2010.
- PAULA, H. C. B.; SOMBRA, F. M.; CAVALCANTE, R. de F.; ABREU, F. O. M. S ; DE PAULA, R. C. M. Preparation and characterization of chitosan/cashew gum beads loaded with *Lippia sidoides* essential oil. **Materials Science and Engineering: C**, v. 31, n. 2, p. 173-178, 2011.
- PORTO, B. C.; CRISTIANINI, M. Evaluation of cashew tree gum (*Anacardium occidentale* L.) emulsifying properties. **Food Science and Technology**, v. 59, n. 2, p. 1325-1331, 2014.
- RODRIGUES, L. F.; PAULA, R. C. M.; COSTA, S. M. O. Métodos de Isolamento de Gomas Naturais: Comparação Através da Goma do Cajueiro (*Anacardium occidentale* L.). **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 3, n. 1, p. 31-36, 1993.
- SILVA, D. A.; DE PAULA, R. C. M.; FEITOSA, J. P. A.; BRITO, A. C. F.; MACIEL, J. S.; PAULA, H. C. B. Carboxymethylation of cashew tree exudate polysaccharide. **Carbohydrate Polymers**, v. 58, n. 2, p. 163-171, 2004.
- SILVA, Daniele Rocha. **Obtenção e caracterização de micropartículas utilizando goma de cajueiro**. 2013. 110 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2013.
- SILVA, D. A.; FEITOSA, J. P. A.; PAULA, H. C. B.; DE PAULA, R. C. M. Synthesis and characterization of cashew gum/ acrylic acid nanoparticles. **Material Science and Engineering C**, v. 29, n. 2, p. 437-441, 2009
- SILVA, Telma Salesa Santana da. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e de esgoto**. 1999. 85 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Escola de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 1999.



## **DESENVOLVIMENTO DE MUDAS PIMENTAS DEDO-DE-MOÇA (*CAPSICUM BACCATUM*) EM SUBSTRATOS A BASE LODO DE CURTUME E MOINHA DE CAFÉ**

**Hércules S. Pereira<sup>\*1</sup>, Inês M. Trindade<sup>1</sup>, Geferson R. Santos<sup>1</sup>, Leticia C. S. Santos<sup>1</sup>, Ana Paula C. G. Berilli<sup>2</sup>, Sávio S. Berilli<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Itapina/Agronomia, \*e-mail: herculeshsp@gmail.com

<sup>2</sup>Programa de Mestrado Profissional em Agroecologia, Instituto Federal do Espírito Santo, Campus Alegre/Agroecologia.

**RESUMO:** Há uma demanda crescente de substratos por produtores de hortaliças, logo, a uma necessidade de caracterizar substratos alternativos para diminuir custos e agregar qualidade as mudas. Tendo em vista esse cenário, o presente estudo buscou avaliar o desenvolvimento de mudas de pimenta dedo-de-moça (*Capsicum baccatum*), em substrato formado pela interação do lodo de curtume e moinha de café e promover um destino sustentável a esses resíduos. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), sendo 8 tratamentos, 6 blocos e 8 plântulas por parcela, totalizando 384 plântulas. Os tratamentos testados no experimento foram (TCM; TLC0; TLC10; TLC30; TLC50; TLC70; TLC90; e TLC100). Após 45 dias do plantio, foi avaliado a altura das plântulas; Diâmetro do caule; Massa seca da parte aérea e da raiz; e Índice de Qualidade Dickson. Os tratamentos TLC0, TLC10 e TLC30 se diferiram da testemunha em todas as variáveis. O substrato 100% moinha de café promoveu um alto desenvolvimento das mudas de pimenta-dedo-de-moça se destacando dos demais tratamentos. À medida que houve aumento da concentração de lodo de curtume verificou-se uma diminuição do vigor das mudas.

**Palavras-chave:** Substrato alternativo. Desenvolvimento sustentável. Hortaliça.

**ABSTRACT:** There is a growing demand for substrates by vegetable producers, therefore, there is a need to characterize alternative substrates to reduce costs and add quality to the seedlings. In view of this scenario, the present study sought to evaluate the development of seedlings pepper girl-finger (*Capsicum baccatum*), in a substrate formed by the interaction of tannery sludge and coffee moinha and promote a sustainable destination for these residues. The experimental design was in randomized blocks (DBC), with 8 treatments, 6 blocks and 8 seedlings per plot, totaling 384 seedlings. The treatments tested in the experiment were (TCM; TLC0; TLC10; TLC30; TLC50; TLC70; TLC90; e TLC100). At 45 days after planting, seedling height was evaluated; Stem diameter; Dry mass of shoot and root; and Dickson Quality Score. The treatments TLC0, TLC10 and TLC30 differed from the controls in all variables. The substrate 100% coffee moinha promoted a high development of seedlings of pepper girl-finger standing out from other treatments. As the concentration increased of tannery sludge there was a decrease in seedling vigor.

**Keywords:** Alternative substrate. Sustainable development. Vegetable.

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente no Brasil, existe uma grande demanda de substratos para produção de mudas de hortaliças (STÖCKER, 2016), logo, a uma busca por substratos alternativos com intuito de diminuir os custos e agregar qualidade as mudas. Dentre as hortaliças, a pimenta dedo-de-moça (*Capsicum baccatum*) tem se destacado, em virtude da elevada capacidade de geração de empregos e renda (OZA *et al.*, 2018).

O lodo de curtume é um resíduo oriundo do curtimento do couro bovino, tem sido estudado como substrato alternativo, devido ao alto teor de matéria orgânica e nutrientes essenciais para as plantas (BERILLI *et al.*, 2014; SALES *et al.*, 2018; BERILLI *et al.*, 2020). Todavia, o uso do lodo deve ser realizado de forma cautelosa, pois esse resíduo possui altos teores de sais solúveis e cromo (SANTOS *et al.*, 2014; RATKE *et al.*,

2019; BERILLI *et al.*, 2020), sendo essas propriedades um empecilho para o descarte desse material no ambiente.

A moinha de café, gerada a partir da seca forçada dos grãos de café é outro resíduo que vem se destacando devido a abundância de nutrientes em sua composição (MENEGBELLI *et al.*, 2016). Ambos os resíduos não têm uma finalidade específica e possuem um grande potencial para ser utilizado como substrato.

Tendo em vista esse cenário, o presente estudo buscou avaliar o desenvolvimento de mudas de pimenta dedo-de-moça, em substrato formado pela interação do lodo de curtume e moinha de café e promover um destino sustentável a esses resíduos.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no viveiro do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo – IFES Campus Itapina, no município de Colatina, onde realizou-se o desenvolvimento das mudas de pimenta em substratos com diferentes proporções de lodo de curtume e moinha de café.

As sementes de pimenta dedo-de-moça foram semeadas em bandejas de polipropileno com 64 células de 22 ml. O delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC), sendo 8 tratamentos, 6 blocos e 8 plântulas por parcela, totalizando 384 plântulas. Utilizou-se o substrato comercial Bioplant® como testemunha, os demais substratos foram compostos de diferentes proporções de lodo e moinha.

Os tratamentos testados no experimento foram 100% substrato comercial Bioplant (TCM); 100% de Moinha (TLC0); 10% de Lodo de Curtume + 90% de Moinha (TLC10); 30% de Lodo de Curtume + 70% de Moinha (TLC30); 50% de Lodo de Curtume + 50% de Moinha (TLC50); 70% de Lodo de Curtume + 30% de Moinha (TLC70); 90% de Lodo de Curtume + 10% de Moinha (TLC90) e 100% de Lodo de Curtume (TLC100).

O lodo de curtume foi cedido pela empresa Capixaba Couros do município de Baixo Guandu – ES, sendo o curtume oriundo de resíduos do efluente do curtimento do

couro bovino após desidratação. A moinha foi adquirida por meio de doação de produtores de café da região de Colatina – ES que possuem secadores. Antes de ser utilizada como substrato a moinha de café passou por um processo de compostagem, logo após, os compostos foram misturados de acordo com as proporções dos tratamentos.

Após 45 dias do plantio foram realizadas as avaliações morfológicas das mudas, no Laboratório de Fitotecnia do IFES Itapina. A metodologia adotada foi proposta por Oliveira *et al.* (2014), Crispim *et al.* (2015) e De Almeida *et al.* (2017), sendo conferidas as seguintes variáveis: Altura da plântula (AP); Diâmetro do caule (DC); massa seca da parte aérea e da raiz (MSPA e MSR).

Para determinar a qualidade das mudas, utilizou-se a fórmula do Índice de Qualidade de muda de Dickson (IQD) obtido Equação1:

$$IQD = MST / ((AP / DC) + (MSPA / MSR)) \quad (1)$$

Onde: IQD = índice de qualidade de Dickson; MST = Massa Seca Total; AP = Altura de Plantas; DC = diâmetro do caule; MSPA = Massa Seca da Parte Aérea; MSR = Massa Seca de Raiz.

Ao final do experimento os dados foram submetidos à análise de variância e realizado o teste de Dunnett a 5% de probabilidade, quando houve significância entre as proporções de lodo de curtume e moinha de café os mesmos foram desdobrados em regressões pelo programa estatístico Rstudio.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos resultados, evidenciou-se que houve diferença significativa em todas as variáveis avaliadas, demonstrando um comportamento diferenciado dos substratos. Nas variáveis altura das plântulas e diâmetro do caule, os tratamentos TLC70,

TLC100 apresentaram comportamento semelhante não se diferenciando da testemunha, já os demais substratos apresentaram diferença significativa com médias superiores, a altura e o diâmetro máximo obtido foi de 6,99 cm e 1,48 mm respectivamente, como mostra a Tabela 1.

**Tabela 1 - Valores médios da altura das plântulas (AP), diâmetro do caule (DC), massa seca da parte aérea e raiz (MSPA, MSR) e índice de qualidade de Dickson (IQD) de plântulas de pimenteira sob diferentes substratos**

Tratamentos	AP ----- cm -----	DC ----- mm ----	MSPA ----- mg -----	MSR	IQD*10 <sup>+3</sup>
TCM	4,16	1,00	15,00	10,00	4,17
TLC0	6,99 *	1,48 *	78,33 *	36,67 *	16,17 *
TLC10	6,74 *	1,35 *	68,33 *	31,67 *	13,50 *
TLC30	5,83 *	1,20 *	40,00 *	18,33 *	7,83 *
TLC50	5,68 *	1,28 *	38,33 *	13,33 <sup>n/s</sup>	7,50 *
TLC70	4,81 <sup>n/s</sup>	1,16 <sup>n/s</sup>	25,00 <sup>n/s</sup>	13,33 <sup>n/s</sup>	6,00 <sup>n/s</sup>
TLC90	5,21 *	1,26 *	20,00 <sup>n/s</sup>	10,00 <sup>n/s</sup>	5,17 <sup>n/s</sup>
TLC100	4,40 <sup>n/s</sup>	1,09 <sup>n/s</sup>	13,33 <sup>n/s</sup>	10,00 <sup>n/s</sup>	3,83 <sup>n/s</sup>
Médias	5,48	1,23	37,29	17,92	8,02
CV(%)	10,23	8,73	22,65	21,10	18,14

As médias seguidas por \* diferem estatisticamente e n/s: não significativo do tratamento testemunha pelo Teste de Dunnett ao nível de 5% de probabilidade.

Analisando a variável MSPA, os tratamentos TLC0 a TLC50 se diferenciaram do tratamento TCM, alcançando massas superiores com uma diferença expressiva. Quanto a variável MSR os tratamentos de TLC0 a TLC30 obtiveram médias maiores que os demais tratamentos se diferenciando da testemunha.

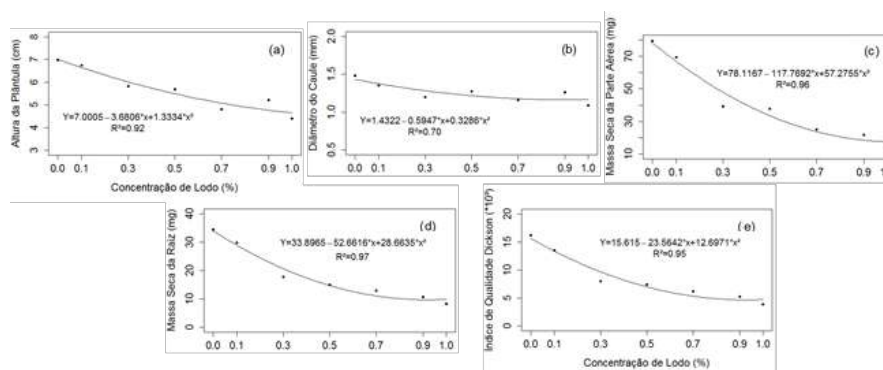
Analisando o índice de qualidade de Dickson, nota-se que os tratamentos TLC0, TLC10, TLC30 e TLC50 se diferenciaram estatisticamente da testemunha,

promovendo um bom desenvolvimento de mudas, apresentando um aspecto mais vigoroso. De acordo com Reis *et al.* (2011) e Fonseca *et al.* (2002), o IQD é um ótimo indicador de qualidade de mudas, pois leva em consideração um conjunto de indicadores morfológicos importantes de forma simultânea, diminuindo os riscos e evitando conclusões equivocadas de escolha de mudas mais altas em comparação com as mais baixas (FONSECA *et al.*, 2002).

Verificando as regressões é possível identificar que as curvas apresentam um padrão de comportamento descendente, a medida em que houve aumento na concentração de lodo, concomitantemente ocorreu uma queda do vigor das mudas (Figura 1). O substrato TLC0 promoveu um bom desenvolvimento das mudas de pimenta dedo-de-moça, atingindo o ápice da curva de regressão em todas as variáveis avaliadas demonstrando um alto vigor das mudas. Em relação às variáveis altura de plântulas e diâmetro do caule a curva teve uma queda menos brusca com o aumento da concentração de lodo (Figura 1, a; b).

Quando avaliadas as regressões referentes à massa seca da raiz e parte aérea, as curvas apresentaram uma notória queda com o aumento da concentração de lodo (Figura 1, c; d), o que influenciou bastante no IQD que apresentou respostas semelhantes (Figura 1, e).

**Figura 1 – Regressões referentes às variáveis avaliadas de mudas de pimenta dedo de moça em substratos com diferentes concentrações de lodo de curume e moinha de café: 0%, 10%, 30%, 50%, 70%, 90% e 100% de lodo de curume**



#### 4 CONCLUSÕES

Os tratamentos TLC0, TLC10 e TLC30 se diferiram da testemunha em todas as variáveis. O substrato 100% moinha de café promoveu um alto desenvolvimento das mudas de pimenta dedo-de-moça se destacando dos demais tratamentos. À medida que houve aumento da concentração de lodo de curtume verificou-se uma diminuição do vigor das mudas.

#### 5 AGRADECIMENTOS

IFES-Campus Itapina pela estrutura cedida e a FAPES pelo financiamento da pesquisa.

#### 6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. N.; FERRAZ, D. R.; SILVA, A. S.; CUNHA, E. G.; VIEIRA, J. C.; SOUZA, T. S.; Berilli, S. S. Utilização de lodo de curtume em complementação ao substrato comercial na produção de mudas de pimenta biquinho. **Revista scientia agraria**, v. 18, n. 1, p. 20-33, 2017

BERILLI, S. S.; CAZAROTI, E. F.; MOREIRA, R. M. G.; SALES, R. A.; BERILLI, A. P. C. G. Lodo de curtume como adubo alternativo na produção de rabanete. **Revista Energia na Agricultura**, v. 35, n. 2, p. 214-224, 2020.

MENEGHELLI, C. M.; LOMONACO, P. A. V.; HADDADE, I. R.; MENEGHELLI, L. A. M.; KRAUSE, M. R. Resíduo da secagem dos grãos de café como substrato alternativo em mudas de café conilon. **Coffee Science**, v. 11, n. 3, p. 330-335, 2016.

OZA, E. F.; MONACO, P. A. V. L.; SANTOS, M. M.; ROSADO, T. L.; KRAUSE, M. R.; GARCIA, W. A. Aproveitamento de escória de siderurgia em substratos alternativos para produção de mudas de pimenteira Dedo-de-moça. **Revista Ceres**, v. 65, n.1, p. 104-109, 2018.

REIS, S. M.; MARIMON JUNIOR, B. H.; MORANDI, P. S.; SANTOS, C. O.; OLIVEIRA, B.; MARIMON, B. S. Desenvolvimento inicial e qualidade de mudas de *Copaifera langsdorffii* desf. sob diferentes níveis de sombreamento. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 11-20, 2016.

STÖCKER, C. M.; MONTEIRO, A. B.; SILVA, D. R.; KUNDE, R. J.; ARAÚJO, T. B. G. Substratos alternativos para a produção de mudas de alface (*Lactuca sativa* L.) Em



sistema orgânico. *In*: JORNADA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA, 13., 2016, Bagé, RS. **Anais** [...] Bagé, RS: Congrega Urcamp, 2016.



## DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE ESTABILIDADE DE NANOEMULSÕES DE ALGINATO DE SÓDIO COM ÓLEO ESSENCIAL DE *EUCALYPTUS CITRIODORA*

Joice F. D. Nascimento\*<sup>1</sup>, Emanuela F. Costa<sup>2</sup>, Flávia O. M. S. Abreu<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, \*e-mail: joice.nascimento@aluno.uece.br.

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia.

**RESUMO:** As propriedades de estabilidade das nanoemulsões são influenciadas pelas condições de emulsificação e pela composição das formulações. Nanoemulsões poliméricas foram preparadas com auxílio de um homogeneizador mecânico, no qual foram obtidas cinco formulações de diferentes concentrações, no intuito de avaliar a estabilidade com posteriores aplicações em sistemas de liberação controlada. Foi avaliada a Viscosidade, o Tamanho de Partícula e a Eficiência de Encapsulamento visando obter uma emulsão estável. As formulações N2 e N4, que foram produzidas com 2:1 (N2) 1:2 (N4) razão óleo e surfactante e 1:1 (N2) 2:1 (N4) alginato e surfactante, se destacaram por apresentar menor Tamanho de Partícula e distribuição de tamanho mais homogêneo. A formulação N2 obteve maior Eficiência de Encapsulamento, com valor de  $68,2 \pm 0,09\%$ . Supõe-se que a nanoemulsão N2 é a mais favorável, pois sua formulação possui uma maior quantidade de tensoativo fazendo com que a interação entre o óleo e a goma seja maior, assim tendo uma melhor capacidade de encapsulamento.

**Palavras-chave:** Alginato. Encapsulamento. Óleo Essencial.

**ABSTRACT:** The stability properties of nanoemulsions are influenced by emulsification conditions and the composition of formulations. Polymer nano-emulsions were prepared with the help of a mechanical homogenizer, in which five formulations of different

concentrations were obtained in order to evaluate the stability with subsequent applications in controlled release systems. Viscosity, Particle Size and Encapsulation Efficiency were evaluated in order to obtain a stable emulsion. The N2 and N4 formulations, which were produced with 2:1 (N2) 1:2 (N4) oil and surfactant ratio and 1:1 (N2) 2:1 (N4) alginate and surfactant, stood out for having smaller Particle Size and more homogeneous size distribution. The N2 formulation obtained higher Encapsulation Efficiency, with a value of  $68.2 \pm 0.09\%$ . It is assumed that the N2 nanoemulsion is the most favorable, because its formulation has a greater amount of surfactant making the interaction between the oil and the gum greater, thus having a better encapsulation capacity.

**Keywords:** Alginate. Encapsulation. Essential oil.

## 1 INTRODUÇÃO

As Nanoemulsões (NE) são compostas de misturas de óleos com surfactantes que formam emulsões com tamanho micelar de 10-1000 nm, refletindo em seu aspecto translúcido. Por consequência do seu tamanho reduzido, sofrem menor ação da gravidade, o que as confere maior estabilidade, e apresentam movimento Browniano (DONSI; FERRARI, 2016).

As NE são compostas por três fases: fase aquosa, e fase oleosa, muitas vezes com a presença de um agente emulsificante atuando na interface, algumas vezes chamados de tensoativos ou surfactantes (CAPEK, 2004). Nanoemulsões poliméricas tem se destacado devido a seu caráter hidrofílico, alta permeabilidade à água, biocompatibilidade e resistência à tração (BRUXEL *et al.*, 2012). Polímeros naturais à base de polissacarídeos têm sido propostos como matrizes para formação de nanoemulsões, a fim de aprimorar a biocompatibilidade e biodegradabilidade dos sistemas e melhorar a estabilidade das nanoemulsões. Algumas dessas moléculas, como

os alginatos, são capazes de interagir com cadeias de surfactantes dispostas em torno das gotículas de óleo (SALVIA-TRUJILLO, 2015).

O *Eucalyptus* é uma planta pertencente à família Myrtaceae cultivada em todas as regiões do Brasil sendo conhecidas cerca de 800 espécies. A espécie *Eucalyptus citriodora* já foi reportada por vários autores quanto a sua ação antimicrobiana (ELAISSI *et al.*, 2011). A encapsulação de óleos essenciais em nanoescala representa uma abordagem viável e eficiente para aumentar a estabilidade física dos compostos bioativos (WEISS *et al.*, 2009). As NE aparecem como sistemas capazes de encapsular, proteger e liberar esses compostos efetivamente (SALVIA-TRUJILLO; McCLEMENTS, 2016). O presente trabalho busca uma nanoemulsão eficaz no encapsulamento para proteção de óleo essencial para aplicação em sistemas de liberação controlada.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

Foi utilizado o Alginato de Sódio (DINÂMICA), óleo essencial de *Eucalyptus citriodora* (FERQUIMA), o agente surfactante utilizado foi o Tween 80<sup>®</sup>. Foi utilizado banho Maria (CIENTEC), chapas aquecedoras (QUIMIS), um Agitador mecânico de Alta energia, o Ultra-stirrer (10.000-29.000 rpm).

### 2.2 Preparação das nanoemulsões

As nanoemulsões foram preparadas seguindo o método de Fernandez *et al.* (2004) com adaptações. As fases aquosa e oleosa foram aquecidas separadamente à temperatura de  $75 \pm 1$  °C, em um Banho Maria (CIENTEC), em seguida a fase oleosa foi vertida lentamente sobre a aquosa com o auxílio de uma seringa sob agitação variável de 12.000 a 15.000 rpm com o auxílio de Agitador mecânico de Alta energia (Ultra-stirrer) até que toda a fase oleosa fosse revertida sobre a aquosa, após esse processo a agitação

seguiu por 22.000 rpm por 5 minutos, após esse período de tempo a solução foi levada a um agitador magnético até atingir a temperatura ambiente ( $25 \pm 5$  °C).

### 2.3 Caracterizações das emulsões

Foi avaliada a viscosidade das emulsões em triplicata, através de soluções com diluições a 50%, 30%, 20%, 15% e 10%. A viscosidade foi medida depositando-se a solução em Viscosímetro de Ostwald, onde cronometrou-se o tempo de escoamento. Foi avaliado o tamanho de partícula e o potencial Zeta das emulsões usando o aparelho Zetasizer/Nanoseries Z590 (MALVERN), com medidas em triplicata. As amostras foram diluídas na proporção de 1:100 e deixadas sob agitação por 24h antes da análise.

Mediu-se a eficiência de encapsulamento das emulsões de acordo com metodologia modificada a partir de Sebaaly *et al.* (2015). Foram preparadas soluções de emulsões em álcool etílico 1:4, em seguida as soluções ficaram em repouso por 24 horas, houve a separação de fases onde foi analisada a parte incolor que representava a mistura de óleo com álcool. A Eficiência de Encapsulamento (EE) foi calculada a partir da Equação 1:

$$\frac{EE(\%)}{M_o} = M \times 100 \quad (1)$$

A determinação foi realizada medindo-se a concentração livre na NE. Foi determinado por espectroscopia de absorção na região do UV-Vis no comprimento de onda de 214 nm. Foi preparado uma curva padrão do Eucalipto citriodora, para que fosse possível determinar a concentração de óleo no meio através de uma curva de calibração, representado pela Equação 2:

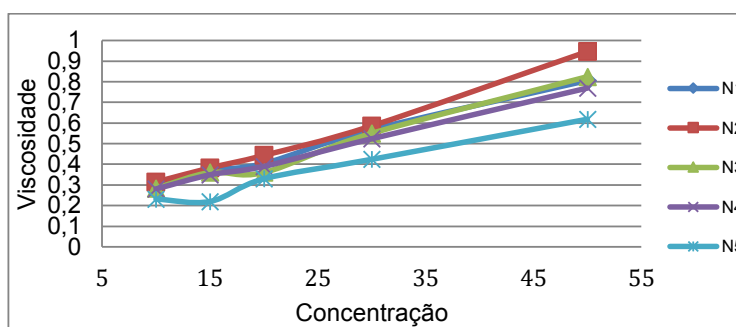
$$Y=0,0024x + 0,0615 \quad R^2=0,998 \quad (2)$$

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas caracterizações de Viscosidade, Tamanho de Partícula e Eficiência de Encapsulamento. Espera-se que quanto menor a viscosidade menor o diâmetro de partícula correspondente e que a nanoemulsão tenha uma maior retenção de óleo. A Figura 1 mostra o tempo de escoamento das cinco amostras que aumentam com a concentração.

Pode-se notar que as nanoemulsões N2, N3 e N1 respectivamente têm valores maiores de viscosidade, quanto maior a viscosidade, maior é a estabilidade e tempo de vida útil da amostra, portanto a N2 tem melhor perfil de Viscosidade.

**Figura 1- Tempo de escoamento das nanoemulsões em diferentes concentrações**



Fonte: Elaborado pelos autores.

A amostra N5 possui menor valor de viscosidade o que lhe confere instabilidade. Para a literatura os surfactantes de baixa massa têm alta mobilidade na interface, adsorvendo-se assim prontamente às superfícies de gotas, diminuindo a tensão superficial ou interfacial entre elas (ARTIGA-ARTIGAS *et al.*, 2018).

Em relação aos resultados de tamanho de partícula, levando em consideração as condições experimentais e a proporção de cada formulação obteve-se os seguintes dados exibidos na Tabela 1

**Tabela 1 - Relação entre tamanho de partícula, condições reacionais e proporção de óleo, surfactante e goma**

Condição Experimental	Surfactante e Óleo	Alginato e Surfactante	Tamanho de Partícula (nm)	EE%
N2	2:1	1:1	313 (94,8%); 88,15 (5,2%)	68,2±0,09
N4	1:2	2:1	309,8 (100%)	41,0±0,1
N5	1:1	1,33:1	371 (80,8%); 5362 (19,2%)	54,6±0,07

Conforme pode ser observado as nanoemulsões apresentaram diâmetro de gota compreendido entre 88,15 e 5362 nm, em concordância com as formulações avaliadas. Na Tabela 1 encontram-se os valores médios dos picos para as NE das condições experimentais N2, N4 e N5. As NE N2 e N5 apresentaram distribuição bimodal, com dois picos representando uma porção de partículas com tamanho médio diferenciado, com uma pequena fração de 88,15 nm (5,2%) e com perfil majoritário de 313 nm (94,8%) para N2. Para N5 uma fração de 5362 nm (19,2%) e com perfil predominante de 371 nm (80,8%). Já a NE N4, apresentou menor tamanho geral em uma distribuição unimodal com uma fração de partículas de tamanho médio de 309,8 nm.

Os menores tamanhos de gota foram obtidos nas formulações N2 e N4 onde se observa que foi utilizado o surfactante Tween 80 em ambas. Quando Tween 80 é usado, tamanhos de partícula menores são obtidos, o que significa que houve menos coalescência ou menor grau de maturação de Ostwald. O grau de encapsulamento foi calculado em função do teor de óleo adicionado na emulsão e consta na Tabela 1. As amostras NE2 e NE5 se destacam com valores de  $68,2 \pm 0,09$  e  $54,6 \pm 0,07$ , respectivamente. Essas formulações apresentam a maior quantidade de surfactante que faz com que a interação da fase aquosa e oleosa seja maior que as outras formulações conferindo maior estabilidade.

#### 4 CONCLUSÕES

A amostra que alcançou melhores resultados nos testes físico-químicos foi a nanoemulsão NE2, pois apresenta valores de viscosidade estáveis, Tamanho de Partícula entre 88,15 e 313 nm e um valor de Eficiência de Encapsulamento superior a 68,0% conforme já foi discutido por conta da quantidade superior de tensoativo. Comprovou-se que a nanoemulsão de Alginato de sódio com óleo essencial de *Eucalyptus citriodora* é uma boa alternativa para encapsulamento e para proteção de óleo essencial para uso em sistemas de liberação confere nanoemulsões estáveis.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Sistema de Laboratórios de Nanotecnologia e Bioprocessos (SisNaBio) onde foi realizado a UV-VIS, a Embrapa Agroindústria Tropical pela realização do Tamanho de Partícula.

#### 6 REFERÊNCIAS

- ARTIGA-ARTIGAS, M.; LANJARI-PÉREZ, Y.; MARTÍN-BELLOSO, O. Estabilidade das nanoemulsões carregadas com curcumina conforme afetada pela natureza e concentração do surfactante. **Química alimentar**, v. 266, p. 466-474, 2018.
- BRUXEL, F.; LAUX, M.; WILD, L. B.; FRAGA, M.; KOESTER, L. S.; TEIXEIRA, H. F. Nanoemulsões como sistemas de liberação parenteral de fármacos. **Química Nova**, v. 35, n. 9, p. 1827-1840, 2012.
- CAPEK, I. Preparation of metal nanoparticles in water-in-oil (w/o) microemulsions. **Advances in colloid and interface science**, v. 110, n. 1-2, p. 49-74, 2004.
- DONSÌ, F.; FERRARI, G. Nanoemulsões de óleo essencial como agentes antimicrobianos em alimentos. **Journal of biotechnology**, v. 233, p. 106-120, 2016.
- ELAISSI, A.; SALAH, K. H.; MABROUK, S.; LARBI, K. M.; CHEMLI, R.; HARZALLAH-SKHIRI, F. Antibacterial activity and chemical composition of 20 *Eucalyptus* species' essential oils. **Food Chemistry**, v. 129, n. 4, p. 1427-1434, 2011.

FERNANDEZ, P.; ANDRÉ, V.; RIEGER, J.; KÜHNLE, A. Nano-emulsion formation by emulsion phase inversion. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 251, n. 1-3, p. 53-58, 2004.

SALVIA-TRUJILLO, L.; MCCLEMENTS, D. J. Influence of nanoemulsion addition on the stability of conventional emulsions. **Food Biophysics**, v. 11, n. 1, p. 1-9, 2016.

SALVIA-TRUJILLO, L.; ROJAS-GRAÜ, A.; SOLIVA-FORTUNY, R.; MARTÍN-BELLOSO, O. Physicochemical characterization and antimicrobial activity of food-grade emulsions and nanoemulsions incorporating essential oils. **Food hydrocolloids**, v. 43, p. 547-556, 2015.

SEBAALY, C.; JRAIJ, A.; FESSI, H.; CHARCOSSET, C.; GREIGE-GERGES, H. Preparation and characterization of clove essential oil-loaded liposomes. **Food chemistry**, v. 178, p. 52-62, 2015.

WEISS, J.; GAYSINSKY, S.; DAVIDSON, M.; MCCLEMENTS, J. Nanostructured encapsulation systems: food antimicrobials. *In*: CANOVAS, G. B.; MORTIMER, A.; LINEBACK, D.; SPIESS, W.; BUCKLE, K.; COLONNA, P. **Global issues in food science and technology**. 1 ed. Academic Press, 2009. cap. 24, p. 425-479.



## DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL E SIMULADA DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS USANDO O ADM1: CALIBRAÇÃO DO MODELO

**Pedro H. L. Gomes<sup>\*1</sup>, Lucinda O. Amaro<sup>1</sup>, Francisca N. S. Silva<sup>2</sup>, Francisco F. S. Matos<sup>3</sup>, Ana L. B. P. Barros<sup>4</sup>, Mona L. M. Oliveira<sup>4</sup>.**

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Físicas Aplicadas, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, \*e-mail: phenrique.lima@aluno.uece.br.

<sup>2</sup>Instituto de Desenvolvimento Rural, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

<sup>3</sup>Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Ceará.

<sup>4</sup>Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia.

**RESUMO:** Dentre os modelos matemáticos que objetivam entender e otimizar o processo de produção de biogás (PB), destaca-se o modelo de digestão anaeróbica nº 1 (ADM1). Os principais fatores limitantes da implementação do ADM1 referem-se a sua calibração. Diante disto, o presente trabalho teve como objetivo ajustar o ADM1 para a PB usando glicose e dejetos suínos diluídos em água. A PB experimental ocorreu para um tempo de retenção hidráulica (TRH) de 13 dias em regime de batelada, e a análise do biogás produzido foi realizada via cromatografia gasosa. A produção simulada foi obtida a partir do MATLAB<sup>®</sup> após o ajuste de parâmetros bioquímicos, físico-químicos e operacionais. O volume médio acumulado diário de biogás experimental obtido foi de 160 mL.dia<sup>-1</sup>, estando 9,03 mL.dia<sup>-1</sup> abaixo do valor simulado ( $R^2 = 0,98$ ). As concentrações percentuais de CO<sub>2</sub> (60% e 52%) e CH<sub>4</sub> (40% e 48%) previstos em simulação para um TRH de 6 dias concordaram com os mensurados experimentalmente, respectivamente. Nesse contexto, conclui-se que o modelo calibrado pode ser usado como base de previsão para a PB em condições similares a observada por esse estudo.

**Palavras-chave:** Produção de biogás. ADM1. MATLAB<sup>®</sup>.

**ABSTRACT:** Among the mathematical models that aim to understand and optimize the biogas production process (PB), the anaerobic digestion model 1 (ADM1) stands out. The main limiting factors for the implementation of ADM1 refer to its calibration. Given this, the present study aimed to adjust ADM1 for BP using glucose and diluted pig manure. The production of experimental biogas occurred for hydraulic retention time (HRT) of 13 days in batch mode, and the analysis of the biogas produced was carried out via gas chromatography. The simulated production was obtained from MATLAB<sup>®</sup> after adjusting biochemical, physical-chemical, and operational parameters. The average daily accumulated volume of experimental biogas obtained was 160 ml.day<sup>-1</sup>, with 9.03 ml.day<sup>-1</sup> below the simulated value ( $R^2$  of 0.98). The percent concentrations of CO<sub>2</sub> (60% and 52%) and CH<sub>4</sub> (40% and 48%) predicted in simulation for a 6 days HRT agreed with those measured experimentally, respectively. In this context, it is concluded that the calibrated model can be used as a forecasting basis for the production of biogas in conditions similar to that observed by this study.

**Keywords:** Biogas production. ADM1. MATLAB<sup>®</sup>.

## 1 INTRODUÇÃO

Diante do acentuado efeito estufa gerado pela poluição global dos recursos naturais, o aproveitamento de fontes alternativas de energia menos poluentes, como o biogás, vem ganhando espaço em meio às fontes de geração de energia (PABÓN-PEREIRA *et al.*, 2013). Nesse contexto, alocar recursos energéticos de forma eficiente é essencial para otimização dos processos industriais, sendo assim, modelos computacionais surgem como uma alternativa a esse propósito (DAZA, 2017). No âmbito computacional, no que se refere à PB, o modelo de digestão anaeróbica nº 1 (ADM1) se destaca, pois, engloba a desintegração não biológica, hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, que são etapas da digestão anaeróbica (DA) (BATSTONE *et al.*, 2002; QUEEN, 2006).

O uso do ADM1 é amplo, diversificado e é capaz de fornecer previsões do desempenho da DA, indicar falhas e incertezas desse processo (DEMITRY, 2016). Dentro dessa área de estudo, Girault *et al.* (2011), observaram que a metanogênese acetoclástica, a acetogênese do propionato e a acidogênese dos açúcares são etapas sensíveis do processo de DA de dejetos suínos. Já Galí *et al.* (2009), analisando a biodegradabilidade de resíduos agroindustriais, validaram modelos em condições de mono e codigestão anaeróbica em regime de batelada, em condições de monodigestão em regime contínuo para o esterco suíno em meio a determinação das frações de Demanda Química de Oxigênio (DQO) particulado e a constante de desintegração do ADM1. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo a calibração do ADM1 mediante a PB usando glicose e dejetos suínos diluídos em água.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Parâmetros reacionais e caracterização do substrato, inóculo e biogás

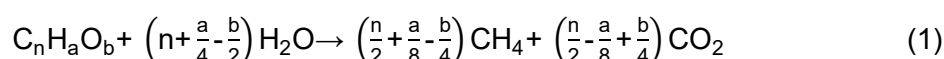
O reator em regime de batelada (1,09 L) utilizado continha uma fase líquida (30%) e outra gasosa (70%) e um sistema de controle de pressão (manômetro + válvula). A fase líquida era composta por 130,8 mL de água, 130,64 mL de dejetos suínos diluídos (inóculo) e 102,02 g de glicose em pó (substrato). O tempo de retenção hidráulica (TRH) adotado foi de 13 dias, desconsiderando as etapas de desintegração e hidrólise. A razão água:substrato e inóculo:substrato utilizada foi igual a 2. A PB teve início com um pH de 7,4 e manteve uma  $T_{operacional}$  de 35 °C pelo TRH. O substrato utilizado foi obtido comercialmente. Já o inóculo foi oriundo da suinocultura da Faculdade de Veterinária da Universidade Estadual do Ceará. Para analisar o biogás gerado um Micro GC 490 B da Agilent ( $t_{backflush}$  (10 s);  $T_{injetor}$  (100 °C); gás arraste (Hélio);  $t_{injeção}$  (40 ms);  $T_{coluna}$  (40 °C); e  $P_{injeção}$  (25,4 psi)) foi posto em linha com o reator.

A partir de uma amostra do inóculo foram determinados os teores de sólidos totais, voláteis e fixos, conforme metodologia descrita por Pontes (2018). O valor da DQO

do substrato foi definida através da determinação experimental dos coeficientes de conversão de proteínas, carboidratos e lipídeos em DQO fornecidas por Aquino, Silva e Chernicharo (2005). Para relacionar os valores da DQO do substrato/inóculo com o ADM1, foi necessário fracionar o valor da DQO teórica proveniente do inóculo e do substrato em componentes biodegradáveis solúveis, particulados e inertes conforme Giraul *et al.* (2011).

## 2.2 Determinação teórica e experimental de biogás e ADM1

A PB teórica foi determinada com base na Eq.1, descrita por Buswell e Mueller (1952). Segundo os autores o seu uso pode-se trazer rendimentos de 95 a 100%.



Onde: a é o nº de mols de C; b é o nº de mols de H<sub>2</sub>; e c é o nº de mols de O<sub>2</sub> presentes na molécula do substrato ou inóculo utilizado na PB. No que diz respeito à produção experimental de biogás, seguiu-se a metodologia apresentada por Ivanova *et al.* (2008), e a partir dela usou-se a Equação 2.

$$V_{gás} = \frac{\Delta P}{P_{atm}} * V_{hs} \quad (2)$$

Onde: V<sub>gás</sub> é o volume do biogás gerado (L); V<sub>hs</sub> é o volume acima da fase líquida (L); ΔP é a pressão manométrica (psi); e P<sub>atm</sub> é a pressão atmosférica (psi). O volume de biogás gerado leva em consideração o vapor de água, sendo assim, um fator de correção deve ser aplicado para normalizar o biogás a condições padrão (0 °C e 1 atm) (RICHARDS *et al.*, 1991). Nesse trabalho o fator de 0,8371 foi utilizado. O *software* escolhido para a implementação das equações diferenciais ordinárias presentes no AMD1 foi o MATLAB®, e esse juntamente com o *software* Excel da Microsoft® foi utilizado

seguindo a metodologia descrita por Nguyen (2014). Os valores numéricos referentes aos parâmetros do ADM1 foram baseados nas sugestões de Batstone *et al.* (2002), e ajustados com base nos trabalhos de Girault *et al.* (2011), Nguyen (2014) e Galí *et al.* (2009).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Segundo Batstone *et al.* (2002), o ADM1 tem como base de cálculo a DQO teórica do afluente utilizado na PB, sendo assim, a DQO referente aos dejetos suínos foi definida em 64% para os componentes inertes, 24% para solúveis e 12% para particulados (GIRAUL *et al.*, 2011). De forma a aproximar a simulação dos dados experimentais, as concentrações iniciais de todas as variáveis do ADM1 tomaram um valor zero, exceto as concentrações relacionadas aos monossacarídeos e aos cátions e ânions, que receberam um valor de DQO de  $103 \text{ g O}_2\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $0,04 \text{ kmol cat}\cdot\text{m}^{-3}$  e  $0,02 \text{ kmol an}\cdot\text{m}^{-3}$ , respectivamente.

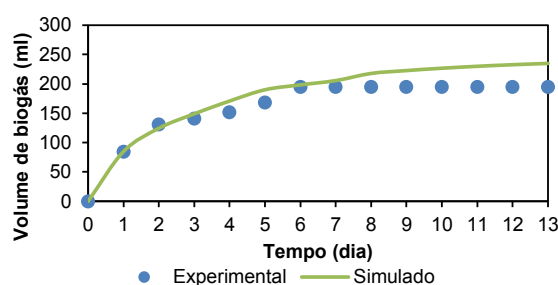
Dentre os parâmetros ajustados estão as taxas de formação referente aos ácidos graxos de cadeia longa (AGCL) provindos de monossacarídeos e aminoácidos (0,10–0,44);  $\text{H}_2$  derivado de açúcares (0,09) (BATSTONE *et al.*, 2002); e material particulado solúvel e inerte (0,10–0,36) (GALÍ *et al.*, 2009). Tratando-se das concentrações de carbono inorgânico e de bactérias, estes foram ajustados a partir da redução do valor padrão ao longo das simulações. Já o conteúdo de carbono e nitrogênio total existente no substrato foram ajustados em  $0,0041$  e  $0,0049 \text{ kmolN}\cdot\text{kgDQO}^{-1}$ , respectivamente, para que a PB simulada se ajustasse à experimental. A concentração de íons  $\text{H}^+$  foi ajustado para representar o pH inicial de 7,4. Já a formação de material complexo e dos seus produtos ( $0,2 \text{ d}^{-1}$ ) foram ajustados para os grupos de bactérias consumidoras de açúcares, aminoácidos, ácidos graxos totais, acetato e  $\text{H}_2$  (BATSTONE *et al.*, 2002).

Referindo-se às taxas de crescimento máximo para a biomassa consumidora de propionato ( $4 \text{ d}^{-1}$ ), monossacarídeos ( $1,1 \text{ d}^{-1}$ ) e acetado ( $3 \text{ d}^{-1}$ ); e as constantes de

Monod para a biomassa consumidora, monossacarídeos ( $1,80 \text{ kg.DQO.m}^{-3}$ ) e propionato ( $0,60 \text{ kg.DQO.m}^{-3}$ ), estas foram baseadas nos trabalhos de Girault *et al.* (2011). Estas constantes foram ajustadas para que a taxa de crescimento específico da biomassa consumidora de  $\text{H}_2$  (ajustada em  $45 \text{ d}^{-1}$  conforme Batstone *et al.* (2002)) e acetato fosse retardado durante a acetogênese. Vale ressaltar que todos esses ajustes objetivaram a adequação da curva de produção de biogás simulada a experimental. A produção teórica de biogás a partir do uso da glicose forneceu uma estimativa de PB de  $746 \text{ mL.g}^{-1}$  de sólidos voláteis considerando um rendimento de 100%.

Frente a esse cenário ótimo previsto as curvas de PB simulada e experimental acumulada, apresentada na Figura 1, foram geradas.

**Figura 1– PB simulada e experimental acumulada**



Fonte: Elaborado pelos autores.

O volume médio acumulado diário de biogás experimental e simulado observado foi de  $160 \text{ mL.dia}^{-1}$  e  $178 \text{ mL.dia}^{-1}$ , respectivamente. A adequação do modelo de simulação é visível pela proximidade dos pontos experimentais à curva gerada e também pode ser observado pelo valor do coeficiente de determinação ( $R^2 = 0,98$ ) determinado por análise de regressão linear. Os resultados experimentais provenientes da cromatografia indicaram um percentual de  $\text{CH}_4$  em torno de 48% e de 52% para o  $\text{CO}_2$  para um TRH de seis dias em contraste aos 40% e 60% previstos nas simulações, respectivamente.

#### 4 CONCLUSÕES

O fracionamento adotado mostrou-se ser uma metodologia adequada à distribuição dos componentes da DQO teórica, pois juntamente com os parâmetros do ADM1 ajustados foi observado uma adequação da curva de produção de biogás simulada a curva experimental, dada a análise de regressão linear realizada. Em relação aos ajustes do ADM1, permitiram-se observar que o acúmulo de bactérias decaídas influencia a formação indesejada de material complexo, inerte e solúvel. Além disso, observou-se que agentes inibitórios, a exemplo do pH, mantêm influência direta com o desempenho dos processos presentes na DA e na produção de biogás, por isso precisam ser monitorados e controlados ao longo do TRH estudado.

#### 5 REFERÊNCIAS

- AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L. Acúmulo de ácidos graxos voláteis (AGV) em reatores anaeróbios sob estresse: causas e estratégias de controle. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 152–161, 2005.
- BATSTONE, D. J.; KELLER, J.; ANGELIDAKI, I.; KALYUZHNYI, S. V.; PAVLOSTATHIS, S. G.; ROZZI, A.; SANDERS, W. T. M.; SIEGRIST, H.; VAVILIN, V. A. The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM1). **Water Science & Technology**, v. 45, n. 10, p. 65–73, 2002.
- BUSWELL, A. M., MUELLER, H. F. Mechanism of methane formation. **Industrial and Engineering Chemistry**, v. 40, n. 3, p. 550–552, 1952.
- DAZA, Silvia Marina Araujo. **Nusselt number correlation for a jacketed stirred tank using computational fluid dynamics**. 2017. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2017.
- DEMITRY, M. E. **Estabilidade do processo de digestão anaeróbica e a extensão do ADM1 para a codigestão de lodo municipal com resíduos de padaria**. 2016. 144 f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) — Curso de Engenharia Ambiental, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Utah State University, Logan, 2016.
- GALÍ, A.; BENABDALLAH, T.; ASTALS, S.; MATA-ALVAREZ, J. Modified version of ADM1 model for agro-waste application. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 11, p. 2783–2790, 2009.

GIRAULT, R.; ROUSSEAU, P.; STEYER, J. P.; BERNET, N.; BÉLINE, F. Combination of batch experiments with continuous reactor data for ADM1 calibration: application to anaerobic digestion of pig slurry. **Water Science & Technology**, v. 63, n. 11, p. 2575–2582, 2011.

IVANOVA, L. K.; RICHARDS, D. J.; SMALLMAN, D. J. The long-term settlement of landfill waste. **Waste and Resource Management**, v. 161, n. 3, p. 121-133, 2008.

NGUYEN, Hoa Huu. **Modelling of food waste digestion using ADM1 integrated with Aspen Plus**. 2014. 298 f. These (Doctorate) - Department of Engineering and the Environment, Course de Philosophy, University of Southampton, 2014.

PABÓN-PEREIRA, C. P.; SLINGERLAND, M.; VAN LIER, J. B.; RABBINGE, R. Anaerobic digestion as a key technology for biomass valorization: contribution to the energy balance of biofuel chains. *In*: WELLINGER, A.; MURPHY, J.; BAXTER, D. **The biogas handbook science, production and applications**. 1 ed. Philadelphia: Woodhead Publishing, 2013. cap. 7, p.166–186.

PONTES, Anderson Honório de Brito. **Automatização de um biorreator para avaliação da codigestão de biomassas**. 2018. 128 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2018.

QUEEN, André Sampaio. **Simulador de Reatores Anaeróbios com base no ADM1**. 2006. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas) – Departamento de Engenharia de Telecomunicações e Controle, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

RICHARDS, B. K.; CUMMINGS, R. J.; WHITE, T. E.; JEWEL, W. J. Methods for kinetic analysis of methane fermentation in high solids biomass digesters. **Biomass and Bioenergy**, v. 1, n. 2, p. 65–73, 1991.



## GASEIFICAÇÃO E PIRÓLISE DA CASCA DA CASTANHA DE CAJU (CCC) EM ESTUDOS DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV) PARA FINS ENERGÉTICOS

Lamec S. Freitas<sup>\*1</sup>, Daniel G. M. Menezes<sup>2</sup>, Daniel S. Serra<sup>3</sup>, Nara A. Policarpo<sup>4</sup>  
Mona L. M. Oliveira<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, \*e-mail: lamec@outlook.com.

<sup>2</sup>Graduação de Física, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia.

<sup>3</sup>Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia.

<sup>4</sup>Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Petróleo.

**RESUMO:** A Casca da Castanha de Caju (CCC) é uma biomassa residual proveniente do processo de beneficiamento da castanha de caju e o uso adequado desse resíduo vem se tornando cada vez mais atrativo. Desta forma, o presente trabalho possui como objetivo aplicar a metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) para compreender os impactos ambientais desses processos, em unidades-piloto com capacidade de processamento de 150 kg/h, visando à geração de energia uma ACV do tipo *gate-to-gate* (fronteiras do sistema) foi aplicada, Na categoria GWP foi verificado que a queima do carvão oriundo da pirólise emite anualmente 114 tCO<sub>2</sub>-eq e a gaseificação apenas 80,4 tCO<sub>2</sub>-eq. A queima do *syngas* no gerador, em ambos os processos, foi responsável pelas emissões de NOX que sensibilizaram a categoria POCP. Já na categoria de emissão de PM<sub>2,5</sub> o carvão da pirólise mais uma vez foi um dos maiores responsáveis pelo agravamento dos impactos ambientais desta categoria, emitindo um total de 21,9 kg de PM<sub>2,5</sub>-eq, enquanto o processo de gaseificação foi responsável somente pela emissão de 0,25% desse total.

**Palavras-chave:** Casca da Castanha de Caju. Gaseificação. Pirólise.

**ABSTRACT:** Cashew Nut Shell (CNS) is a waste biomass from the cashew industry and its usual, not only for environmental aspects but also because it's energetic capacity. The gasification and pyrolysis are presented as viable options for increasing energetic efficiency of this biomass, besides reducing the environmental impacts from direct burning of CNS. The goal of the present work is use LCA methodology to understand the environmental impacts of both processes in small units of gasification and pyrolysis, with processing capability of 150 kg/h of CNS, for energy generation. A gate-to-gate LCA was into the respective reactors of gasification or pyrolysis. In the GWP category from pyrolysis emits 114 tCO<sub>2</sub>-eq annually, while the entire gasification process emits only 80,4 tCO<sub>2</sub>-eq. The syngas burning in the generator of both processes was responsible for NOX emissions which accounted for POCP category. In the PM<sub>2,5</sub> category the charcoal from pyrolysis again presented itself as the biggest responsible for the worsening of environmental impacts, with 21,9 kg de PM<sub>2,5</sub>-eq while to gasification process only 0,25% this total.

**Keywords:** Cashew nut Shell. Gasification. Pyrolysis.

## 1 INTRODUÇÃO

No ano de 2018 as fontes renováveis representam 83,3% da oferta interna de eletricidade no Brasil, que é a resultante da soma dos montantes referentes à produção nacional mais as importações, que são essencialmente de origem renovável (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2019). Em 2013, a energia proveniente de biomassa no Brasil aparece em lugar de destaque, por colaborar com um montante de aproximadamente 25% da oferta total de energia do país (BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, 2014).

O Ceará apresenta uma estimativa de crescimento da produção de cereais, leguminosas e oleaginosas de 371,5%, sendo essa a segunda maior variação da região. Dentre os diversos produtos agrícolas produzidos na região, a Casca da Castanha de

Caju (CCC) ocupa posição de destaque, tendo em vista ser o produto com maior projeção de crescimento para o ano de 2016, com estimativa de aumento de 120,7% da produção em relação ao ano de 2015, passando de 102.768 para 226.762 toneladas.

Assim, dentre as principais ferramentas para avaliação de impactos ambientais associadas ao processo de geração de energia, a Avaliação ou Análise do Ciclo de Vida – ACV (do inglês, Life Cycle Assessment – LCA) ocupa posição de destaque, tendo em vista a sua extensa compreensão dos riscos e danos ambientais associadas a determinado produto ou serviço (VIANA *et al.*, 2012; WILLERS; RODRIGUES; SILVA, 2013; PATEL *et al.*, 2016).

A ACV constitui uma ferramenta indispensável para o melhor acompanhamento dos ciclos de produção e a identificação de alternativas de interação entre processos. Esta metodologia tem sido frequentemente utilizada nas áreas empresarial e industrial, é reconhecida como de grande valia no setor energético (WULF; KALTSCHMITT, 2013). Contudo, estudos que propõem analisar e avaliar riscos ambientais oriundos de unidades de gaseificação e pirólise da casca da castanha de caju, aplicando a metodologia ACV, ainda são incipientes principalmente porque dependem de características inerentes de cada processo/produtos, além da característica regional desta biomassa. Nesse contexto, o presente estudo visa à modelagem de dois principais cenários de processos termoquímicos no uso da CCC na geração de energia, aplicando a metodologia da ACV.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 A Unidade de Gaseificação

No presente estudo foi considerada uma unidade de gaseificação de leito fluidizado de biomassa com capacidade de 150 kg/h de CCC e temperatura de 900°C, para disponibilizar uma energia de 640 kW, conforme a literatura por Alcócer *et al.* (2015). A unidade está localizada no Laboratório de Tecnologia da Combustão da Universidade

de Fortaleza – UNIFOR. Esta “unidade modelo” Figura 1a, utilizada para a obtenção dos parâmetros operacionais inerentes ao sistema (combustão, reator, gás de síntese, sistema de limpeza e gerador), ou seja, no levantamento dos fluxos de massa e energia (entradas e saídas) do processo para aplicação da ACV.

**Figura 1- a: Unidade de gaseificação da CCC; b: Sistema experimental de pirólise**



Os dados experimentais utilizados neste cenário foram obtidos através de ensaios realizados pelos pesquisadores do Laboratório de Conversão Energética e Emissões Atmosféricas (LACEEMA) da UECE, com a colaboração do Núcleo de Tecnologia da Combustão (NTC) da UNIFOR. Outros resultados utilizando esta mesma unidade podem ser encontrados com mais detalhes em Alcócer *et al.* (2015).

## 2.2A Unidade de Pirólise da CCC

No que diz respeito aos dados de entrada e saída de uma unidade de pirólise de CCC, foi estimado e considerado valores com base nos estudos realizados por Figueiredo (2011), que utilizou a unidade de pirólise apresentada na Figura 1b. Os gases de pirólise saem pela parte superior do forno onde fica localizado o sistema de limpeza dos gases e coleta da fração líquida. Da parte superior o syngas após passar pelo sistema de limpeza é armazenado em uma bolsa para análise cromatográfica. A temperatura média desse

processo, reportando por Figueiredo (2011) foi de 500 °C, com taxa de aquecimento de 5 °C/min.

## 2.3 Modelagem

A modelagem foi realizada ao determinar as quantidades dos fluxos registrados no Inventário do Ciclo de Vida que subsidiou a alimentação do GaBi®. Foram utilizados dados de ensaios realizados numa unidade-piloto de gaseificação da CCC, bem como dados da literatura técnica que versam sobre o processo de gaseificação e pirólise da biomassa e queima do syngas. Os ensaios de gaseificação e pirólise passaram por um processo de scale up para possibilitar uma análise mais próxima da eventual operação dessas unidades, quando operadas durante um ano. Para fins de modelagem no Gabi®, foram caracterizados dois principais cenários:

**1 Cenário 1-Unidade de Gaseificação de CCC:** Esse cenário abrange os valores mensurados em experimentos realizados na unidade de gaseificação, bem como as devidas projeções para um ano útil de operação da unidade.

**2 Cenário 2-Unidade de Pirólise da CCC:** Foram utilizados como referência os dados da literatura que abordam a pirólise da biomassa, mais especificamente os trabalhos de Figueiredo (2011) e Figueiredo (2009) que estudaram a caracterização dos produtos da pirólise da CCC. Convém salientar que as amostras de CCC utilizadas pelos autores correspondem às mesmas amostras utilizadas no presente trabalho.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base no inventário realizado nas unidades de gaseificação e pirólise da CCC, Tabela 1 - (a) e (b), ilustra-se os principais fluxos (entrada e saída) existentes nesses processos, modelado no GaBi®. Desses, observa-se, que na pirólise, há uma

maior produção de H<sub>2</sub>, presente no syngas do que na gaseificação, e este, contribui mais significativamente para a formação do ozônio fotoquímico.

**Tabela 1 - (a) Cenário 1: Gaseificação da CCC. (b) Cenário 2: Pirólise da CCC**

GASEIFICAÇÃO (5760 hs)			PIRÓLISE (5760hs)		
Entradas			Entradas		
Fluxo	Quantidade	% Total	Fluxo	Quantidade	% Total
Biomassa	304800	0,94942	Biomassa	304800	1,00
Ar	15697,2	0,048895	Nitrogênio	228,6	0,001
GLP	541,02	0,001685	GLP	541,02	0,002
<b>TOTAL</b>	<b>321038,22</b>	<b>1</b>	<b>TOTAL</b>	<b>305569,62</b>	<b>1</b>
Saídas			Saídas		
Fluxo	Quantidade	% Total	Fluxo	Quantidade	% Total
CO <sub>2</sub>	67345,23107	21%	CO <sub>2</sub>	60632,2658	19,84%
CO	23395,65542	7%	CO	15724,7231	5,15%
H <sub>2</sub>	1436,438744	0,4%	H <sub>2</sub>	45899,1919	15,02%
PM <sub>2,5</sub>	10821,95043	3%	Água	566,65669	0,19%
Alcatrão	36514,35072	11%	Alcatrão	99448,2491	32,55%
<b>TOTAL</b>	<b>139513,6264</b>	<b>43%</b>	Carvão	35982,6998	11,78%
			<b>TOTAL</b>	<b>258253,786</b>	<b>84,52%</b>

As principais etapas do cenário 1 estão relacionadas ao Reator (RG) e o Motor- Gerador (MG), onde ocorrem reações termoquímicas (combustão) gerando as emissões de poluentes que, conseqüentemente, contribuem potencialmente para o impacto ambiental. Já no cenário 2, os processos mais relevantes são o Reator, o Gerador e o Forno. Assim, através da ACV dos cenários em análise, obtiveram-se os resultados na Tabela 2. Desta, observa-se impactos de Potencial de Aquecimento Global (GWP), no cenário 2, devido a queima do carvão no forno e gerador do processo. Pelo

aproveitamento energético do carvão de pirólise, dado o seu elevado PCI, a emissão de  $PM_{2,5}$  foi mais elevada nesse cenário e na formação de ozônio fotoquímico, os resultados são devido à composição química dos *syngas*, na gaseificação,  $H_2:CO$  é de 1:1 e na pirólise é de 3:1.

**Tabela 2 - Categorias de Impactos Ambientais (Cenários (1) e (2))**

ACV	GWP (kg CO <sub>2</sub> eq)	PM <sub>2,5</sub> (kg PM <sub>2,5</sub> eq)	POCP (kg NMVOC)
Cenário 1: Gaseificação	80	$5,57 \times 10^{-2}$	$1,16 \times 10^4$
Cenário 2: Pirólise	114	21,9	$9,45 \times 10^4$

#### 4 CONCLUSÕES

Na análise geral dos resultados obtidos da aplicação da metodologia de ACV em processos da decomposição térmica (gaseificação e pirólise) da casca da castanha de caju (CCC) para geração de energia, o estudo estabelece contributos relevantes dentre os quais, a importância do desenvolvimento de um modelo de ciclo de vida para processos termoquímicos que permitem avaliar o impacto ambiental na geração de energia elétrica, sobretudo os gerados a partir de biomassa regional (CCC) e em termos ambientais, verificou-se que a pirólise apresenta maior contribuição para os danos ambientais associados às três categorias estudadas.

#### 5 AGRADECIMENTOS

A todos os envolvidos nesse trabalho, em especial aos bolsistas do Laceema Laboratório de Conversão Energética e Emissões Atmosféricas (Laceema), ao Núcleo de Tecnologia da Combustão (NTC) da Unifor, pelo acesso à unidade de gaseificação. À *Thinkstep* e à *PE International* pelo fornecimento da versão acadêmica do *software* Gabi 5.0 e

RETScreen (*Natural Resources Canada*), ferramentas indispensáveis para a realização desse trabalho.

## 6 REFERÊNCIAS

ALCOCER, J. C. A.; DUARTE, J. B. F.; PEREIRA, M. C.; OLIVEIRA, M. L. M.; LIMA, R. K. C.; BENEVIDES, D.; BARROS, G. Mass and Energy Balance of a Cashew Nut Shell Gasification Pilot Unit Utilized in Power Generation. **Revista IEEE América Latina**, v. 13, n. 10, p.3333-3337, 2015.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço Energético Nacional 2015**. Rio de Janeiro, 2015. 155 p.

FIGUEIREDO, Renata Andrade. **Caracterização dos produtos da pirólise da casca de caju: influência da taxa de aquecimento e da temperatura**. 2011. 126 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

GABi® *software*. Disponível em: <http://www.gabi-software.com/brazil/index/>. Acesso em: jul. 2016.

PATEL, M.; ZHANG X.; KUMAR, A., Techno-economic and life cycle assessment on lignocellulosic biomass thermochemical conversion technologies: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 53, p. 1486-1499.

VIANA, A. N. C.; BORTONI E. C.; NOGUEIRA, F. J. H.; HADDAD, J.; NOGUEIRA, L. A. H.; VENTIRINI, O. J.; YAMACHITA, R. A. **Eficiência Energética: Fundamentos E Aplicações**, 1. ed. Campinas: Universidade Federal de Itajubá, Excen, Fupai, 2012. 315 p.

WILLERS, C. D.; RODRIGUES, L. B.; SILVA, C. A. Avaliação do ciclo de vida no Brasil: uma investigação nas principais bases científicas nacionais. **Production**, v. 23, n. 2, p. 436-447, 2013.

WULF, C.; KALTSCHMITT, M. Life cycle assessment of biohydrogen production as a transportation fuel in Germany. **Bioresource Technology**, v. 150, p. 466-475, 2013.



## MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SUBSTRATOS, PREVENDO A QUANTIFICAÇÃO DE BIOGÁS: UMA REVISÃO DA LITERATURA PARA A VALORIZAÇÃO DESTE BIOCOMBUSTÍVEL

Silva C. V da Silva<sup>1</sup>, Flores V. J. da Silva<sup>1</sup>, Mattos A. Paula<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica.

**ABSTRACT:** Anaerobic digestion and biogas production from different organic materials is becoming a mechanism for sustainable development. At the same time that it deals with agro-industrial and residential waste, its use can generate energy, reducing greenhouse gases, generation carbon credits, and contributing to the generation of distributed energy. The determination of methane generation potential, the main component of biogas, has a high dependence on the quality of the substrate. The evaluation of the biogas and methane generation process is through the kinetics of anaerobic digestion of the known mass of biomass (total solids, organic chemical demand) and are carried out in laboratory tests and are standardized. Some tests focus on the degradability of the substrate, and others aim to evaluate the energy potential of the substrate. These tests are essential for carrying out a biogas plant project, as the biomethane potential will determine the technology used and the quality of the biogas. In this context, this article aims to present a literature review of the main methods for assessing the quality of the substrate and quantifying the biogas generated.

**Keywords:** Biogas. Methods of evaluating the organic matter. Biomethane.

### 1 INTRODUÇÃO

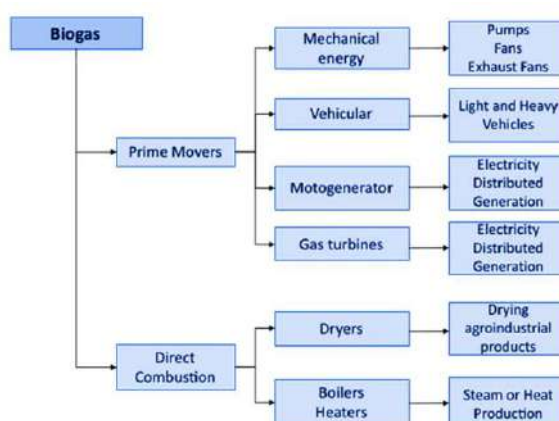
A viabilização econômica, técnica e ambiental do uso dos biocombustíveis para substituição parcial ou total dos combustíveis fósseis estimula muitos projetos e

pesquisas. O uso das fontes renováveis e dos biocombustíveis estão em ascensão (VERONEZE *et al.*, 2019). A busca por incentivos ao uso de fontes alternativas de energia poderá equilibrar e até compensar os custos envolvidos na implementação de projetos que visem a eficiência energética. O investimento global em energias renováveis, foi cerca de 279 bilhões de dólares no ano de 2018, sendo China como maior investimento seguido dos EUA (EPE, 2019).

A modernização do biogás e produção de biometano oferecem novas oportunidades pelo uso de biogás e pela substituição de combustíveis fósseis no setor de transportes, superando as limitações do uso de calor e para melhorar a economia das usinas de biogás (SCARLAT; DALLEMAND; FAHL, 2018). A Figura 1 apresenta as possibilidades de utilização do biogás. A Tabela 1 apresenta os principais componentes do biogás e suas características.

O aperfeiçoamento de metodologias à produção de biocombustíveis destaca-se pelo elevado potencial de matéria orgânica, e com a utilização de biodigestores no processo de fermentação, obtém-se como um dos produtos de interesse: o biogás (ARAÚJO, 2017). Atualmente, pesquisas têm demonstrado que a metanização do resíduo alimentar é uma rota viável para o tratamento e a valoração desse resíduo (FERREIRA, 2015).

**Figura 1 – Fluxograma das possibilidades do uso do biogás**



Fonte: Freitas *et al.* (2019).

**Tabela 1 – Principais componentes do biogás e suas características**

Gás	Sigla	Concentração no Biogás (%)	Poder calorífico (kWh.kg <sup>-1</sup> )	
			Inferior	Superior
<b>Metano</b>	CH <sub>4</sub>	50 – 80	13,88	15,40
<b>Dióxido de carbono</b>	CO <sub>2</sub>	20 – 40	-	-
<b>Hidrogênio</b>	H <sub>2</sub>	1 – 3	33,29	39,40
<b>Nitrogênio</b>	N <sub>2</sub>	0,5 – 0,3	-	-
<b>Sulfeto de hidrogênio e outros</b>	H <sub>2</sub> S, CO e	1 - 5	4,22; 2,8; e	4,58; 2,8 e
	NH <sub>3</sub>		5,16	6,23

Fonte: Fundamentos do biogás (2020).

Mediante ao contexto, este artigo visa apresentar métodos de quantificação de biogás e qualidade do substrato. A fim de contribuir para ampliação da utilização do biogás, biometano e geração de bioenergia.

## 2 DIGESTÃO ANAERÓBICA (DA) E BIODIGESTORES

O processo de transformação da matéria orgânica pela DA em biogás, é uma solução eficaz para o tratamento dos resíduos orgânicos, especialmente os alimentos e dejetos, todavia, há fatores influentes no processo, incluindo características da matéria-prima. A DA é realizada basicamente por quatro fases: a hidrólise, a acidogênese, acetogênese, metagênese, estas fases podem ocorrer num mesmo tanque (monofásica), ou em dois tanques (bifásica). Na bifásica a fase da metanogênese ocorre separadamente da demais, pois é a principal por formar o metano (CH<sub>4</sub>).

O produto deste processo tem como resultado o biogás, cujo é uma combinação de gases gerados a partir da DA, constituído principalmente de gás metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) e água (H<sub>2</sub>O), a biodigestão da matéria prima se obtém também o biofertilizante (ARAÚJO, 2017). O uso de biodigestores para a produção de biogás iniciou-se a partir do século XIX, os países que mais utilizaram e aprimoram essa tecnologia foi a Índia em 1939 e a China em 1958. Por isso Os dois modelos mais difundidos são o Chinês e o Indiano (LUSTOSA, 2014), ambos

têm como objetivo criar condição anaeróbica, ou seja, total ausência de oxigênio no seu interior para que a biomassa seja completamente degradada (MACEDO, 2019).

Biodigestores são equipamentos que consistem em uma câmara de fermentação hermética e impermeável, com finalidade de biodegradar a matéria orgânica inserida no biodigestor por meio da fermentação anaeróbica, ou seja, sem ar atmosférico. A Tabela 2 apresenta um resumo da classificação dos tipos de reatores e biodigestores. Segundo Cortez *et al* (2008) o tipo de reator-processo, pH, composição e concentração de resíduos, substâncias tóxicas, agitação e temperatura, são fatores que interferem no processo de biodigestão no interior do biodigestor. A caracterização da matéria orgânica é importante, pois a quantidade de sólidos voláteis e a demanda química orgânica (DQO) influenciam diretamente na eficiência da DA.

Sabe-se também que temperaturas inferiores a 10 °C inibem a atividade microbiana interrompendo o processo. Também mostra que variações bruscas de temperatura acima de 5 °C em um dia podem interromper a atividade de bactérias e resultar na formação de ácidos voláteis não digeridos. A produção de biogás duplica a cada 10 °C de aumento de temperatura na faixa de 15 °C a 35 °C (CORTEZ *et al.*, 2008).

### **3 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO SUBSTRATO E QUANTIFICAÇÃO DO BIOGÁS**

A implementação de plantas de biogás, depende de diversos fatores, e a avaliação da digestão anaeróbica é importante afim de se conhecer o potencial de geração de biogás do substrato em questão e posteriormente a qualidade do biogás gerado. Avaliar a cinética da digestão anaeróbia consiste em analisar a atividade de microrganismos, características de degradabilidade de substratos, etc (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019). Esta avaliação pode ser feita por meio de ensaio laboratoriais em pequena escala e sob condições controladas.

É necessário conhecer a matéria orgânica, portanto a caracterização química e física é uma etapa de suma importância, mas os ensaios biocinéticos para a

visualização da real interação entre os microorgânicos e substratos são essenciais. Estes ensaios cinéticos consistem em testes respirométricos anaeróbios e geralmente envolvem a avaliação da produção de biogás ou de metano a partir da massa conhecida de biomassa (ou matéria orgânica definida como sólidos voláteis (SV), demanda química orgânica (DQO)) do inóculo ou do substrato (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019).

Existem alguns métodos padronizados, o objetivo de cada método pode ser diferente, tais como: a eficiência dos microrganismos, degradabilidade do substrato em condições anaeróbias, potencial bioquímico de metano (ou potencial energético) do substrato. Outros avaliam a toxicidade de substâncias inibidoras no processo anaeróbio. Porém, todos os métodos se baseiam na incubação de substrato(s) mesclado(s) com inóculo anaeróbio, em batelada e em condições controladas (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019). Neste artigo serão apresentados os métodos padronizados: BMP (VDI4.630), AME, por serem os testes mais utilizados atualmente no Brasil. A Tabela apresenta um resumo das normas existentes.

**Tabela 2 – Resumo dos métodos cinéticos anaeróbios**

<b>Sigla</b>	<b>Propósito e/ou aplicação</b>
<b>AME</b>	Mensura a atividade específica de produção de metano em lodos anaeróbios. Utilizado para efetuar comparações entre inóculos ou avaliar eficiências em reatores anaeróbios.
<b>ISO 13.641</b>	Ensaio de toxicidade anaeróbica. Baseia-se na medida da inibição da produção de biogás após três dias de incubação. Utilizado para avaliar a influência de compostos químicos diversos na digestão anaeróbia.
<b>ISO 11.734</b>	Estima a degradação de substâncias orgânicas diversas e a medida da produção de biogás
<b>ASTM E2170-01</b>	Estima a degradação de substâncias químicas pela medida da produção de biogás e por análises químicas da concentração residual. Método reconhecido nos EUA.
<b>DIN 38.414-8</b>	Mensura a degradação de lodos e efluentes por meio da medida da produção de biogás
<b>VDI 4.630</b>	Método para mensurar o PBB e PBM. Aplicado a diversos tipos de substratos, inclusive resíduos agropecuários e culturas agrícolas. Método reconhecido na Alemanha e países europeus.

Fonte: Embrapa (2019).

#### 4 ATIVIDADE METANOGÊNICA ESPECÍFICA – AME

A AME, é definida como a capacidade máxima de produção de metano por um consórcio de microrganismos em condições anaeróbias. As condições do teste devem ser devidamente controladas para que o processo de produção de metano seja efetivo, desta forma viabilizando a conversão de substratos orgânicos em metano (AQUINO *et al.*, 2007).

##### 4.1 Considerações sobre as condições do teste de AME

Alguns parâmetros devem ser levados em consideração sobre as condições do teste de AME, para assim obter êxito na aplicação da metodologia, tais como: tipo e concentração do substrato e inóculo; agitação e controle de temperatura. A concentração do substrato utilizado, no teste de AME deve ser feito com excesso de substrato e nutrientes, passando a depender apenas da concentração dos microrganismos (inóculo) presentes. De acordo com Penna (1994), a atividade do lodo presente no teste da AME é variável, isto ocorre devido a quantidade de biomassa utilizada para qual existe uma faixa adequada de quantidade de substrato. É importante que se saiba a concentração exata de lodo presente em cada frasco do teste para que se possa calcular com precisão a massa inicial de inóculo. Por isso é indispensável que se faça análise dos sólidos suspensos voláteis (SSV) no lodo utilizado como inóculo.

No teste AME a agitação constante garante o que haja contato suficiente da biomassa com o substrato. Segundo Penna (1994), para lodo de esgoto sanitário agitação manual intermitente simplifica a metodologia. Em relação à temperatura, o teste de AME deva ser feito na faixa de 30 a 35 °C, para que os microrganismos metanogênicos mesofílicos tenham as melhores condições de crescimento. Alguns pesquisadores utilizam a temperatura de 30 °C (AQUINO *et al.*, 2007; SOUZA; AQUINO; CHERNICHARO, 2005). O valor de AME obtido pode ser usado para se determinar a carga orgânica que poderia ser aplicada no reator anaeróbio contendo determinada

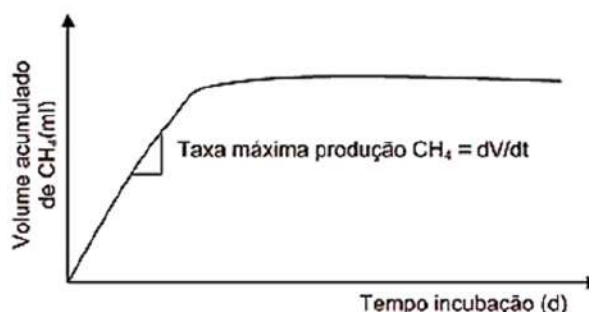
massa de lodo. A quantificação no teste AME é realizada de duas formas: manométrica e volumétrica (Tabela 3).

#### I. Medição do volume e composição do biogás

De acordo com Aquino *et al.* (2007), frascos de vidro são utilizados como reatores e são inoculados geralmente com lodo a ser testado, substrato e solução de nutrientes, e incubados à temperatura média de 30 °C, por um período de 7 a 20 dias. Durante a geração de biogás é essencial que se façam monitoramentos para determinar a taxa máxima de metano juntamente com outros constituintes presente no biogás, pois quando a produção acumulada de biogás se estabilizar o teste deve ser finalizado. Além disso, para se determinar a taxa máxima de metano é necessário montar um Gráfico “volume acumulado de metano” versus “tempo de incubação” e identificar o ponto de máxima inclinação na curva.

A taxa máxima de produção de metano pode ser obtida ao se construir um Gráfico temporal da produção acumulada de metano, injetando-se diferentes gases padrão que contenham metano em diferentes porcentagens. A AME é então definida pelo coeficiente angular no trecho de maior inclinação do Gráfico, como mostrado na Figura 2. Deve-se assegurar que a taxa máxima seja determinada o trecho linear que corresponda ao consumo mínimo de 50% do substrato adicionado.

**Figura 2 - Processo experimental para o teste AME**



Fonte: Chernicharo (2016).

**Tabela 3 – Características dos métodos manométrico e volumétrico**

Características	Manométrico	Volumétrico
<b>Objetivo</b>	Medir a pressão do biogás produzido sobre um sensor (membrana transdutora de pressão) acoplado ao frasco de reação.	Determinar do volume de biogás ou metano produzido em um frasco reacional que contém o lodo a ser testado. A literatura reporta três metodologias comumente utilizadas que empregam procedimentos volumétricos: i) medição do volume e composição do biogás, ii) medição apenas da composição do biogás, iii) medição direta do volume de metano.
<b>Vantagens</b>	Facilidade de se montar um sistema com medidores de pressão acoplados a microcomputadores, assim otimizando o processo.	Análise da composição do biogás e medição direta do volume de metano; baixo custo de aquisição e operacional com materiais acessíveis a compra; facilidade para aplicação em teste de quantificação de biogás, como o potencial bioquímico de metano (BMP).
<b>Desvantagens</b>	A utilização deste método requer um custo de aquisição e manutenção elevado em comparação ao outro método.	Manuseio manual que retarda o processo de mensuração de biogás e deixa mais sucinto a porcentagem de erros.

Fonte: Elaborado pelos autores.

## II. Medição apenas da composição de biogás

Neste caso, fixa-se um volume específico de biogás dentro do frasco de reação e atem-se a determinar a quantidade de metano produzida por cromatografia gasosa. Devido a medição apenas da composição de biogás, este método dispensa a medição do volume de biogás e o uso de seringas de vidro, entretanto, o frasco de reação



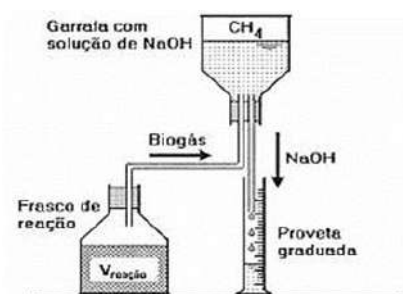
opera com pressões mais elevadas, o que aumenta o risco de perda de biogás, essencialmente no processo de amostragem do volume fixo. O êxito no processo é estabelecido pela exatidão na inserção do volume de biogás no cromatógrafo para evitar erros na curva de calibração (AQUINO *et al.*, 2007).

### III. Medição direta do volume e metano

Diferentemente dos métodos I e II, este se priva em mensurar somente o volume de metano, que consiste em lavar o biogás com uma solução de soda (NaOH 15%), para que haja a absorção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Pelo fato de se medir diretamente o volume do metano produzido, é dispensado o uso do cromatógrafo para determinação da composição do biogás e possibilita a adequação deste método para qualquer laboratório com experimentos de bancada sem grande capacidade de infraestrutura.

Aquino *et al.* (2007) descreve o processo de medição direta do metano da seguinte forma: o biogás produzido no frasco de reação é coletado por uma agulha e transportado por uma mangueira até o recipiente com solução de NaOH, o qual tem a função de “lavar” o biogás coletado. O resultado desta lavagem é o gás metano (CH<sub>4</sub>), o qual ocupa o espaço superior do recipiente e a maneira que o volume de biogás aumenta e desloca a solução de soda por uma mangueira, até uma proveta que indicará o volume de CH<sub>4</sub> formado (Figura 3).

**Figura 3 - Esquema experimental para lavagem do biogás e medição do volume de metano produzido**



Fonte: Aquino *et al.* (2007).

## 5 POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO (BMP)

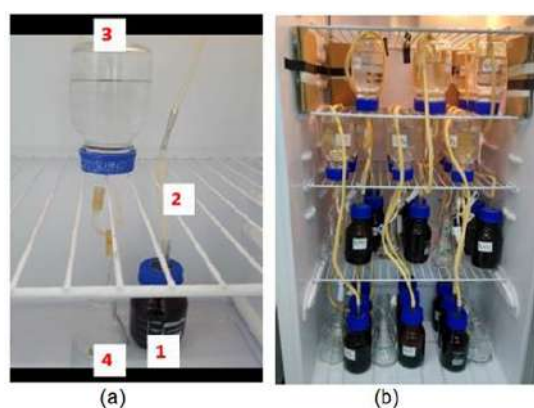
O teste BMP é uma técnica analítica essencial para avaliar a implementação e otimização de biotecnologias anaeróbias sendo a metodologia mais usada por profissionais acadêmicos e técnicos para determinar a produção máxima de metano de um determinado substrato (DA SILVA *et al.*, 2018). Segundo Teixeira *et al.* (2019), para realização do experimento, é necessária trituração dos resíduos e adição de água, na proporção 2:1 (água: resíduo) na temperatura de 35 °C no período de 45 dias, (SILVA; MORAIS; ROCHA, 2016) também utilizou esta mesma proporção, porém adotou a temperatura da estufa em torno de 35 °C±5, por 90 dias.

Segundo Aquino (2007) o tempo de realização do experimento é de 45 dias, onde a temperatura é mantida a 37 °C durante o período de realização, tendo em vista que esta é a temperatura e o tempo normalmente utilizado em testes BMP (AQUINO *et al.*, 2007). A Tabela 5 apresenta a geração de biogás utilizando teste BMP de algumas literaturas.

A partir da produção de biogás no reator (1), sua baixa densidade ocasiona seu deslocamento para o frasco de coleta do biogás (3) – que continha água, por meio da mangueira de transporte (2). De acordo com o volume de gás que ocupa o frasco de coleta, a água contida no mesmo frasco é deslocada por outra mangueira de transporte

ao frasco de mariotte (4), o volume de água mensurado na proveta corresponde ao volume de biogás produzido no reator. O esquema segue na Figura 4a e 4b.

**Figura 4 – (a) Processo experimental para o teste BMP (b) Incubadora utilizada para o teste BMP**



Fonte: Teixeira *et al.* (2019).

**Tabela 5 - Geração de biogás utilizando teste BMP**

<b>Autores</b>	<b>Tipo de substrato</b>	<b>TRH</b>	<b>Temperatura</b>	<b>CH<sub>4</sub> de BMP</b>
Andrade <i>et al.</i> (2015)	Resíduo Sólido Orgânico, Lodo Anaeróbio e Glicose (RSOLG).	92 dias	35°C	143,13 mL
Gueri <i>et al.</i> (2018)	Resíduos alimentares.	30 dias	30°C	68,74%
Silva <i>et al.</i> (2016)	RSU, solução nutritiva e inóculo.	90 dias	35°C	282,7 NL,kg <sup>1</sup> MS ou 60,9%

---

	Borra de café,			
Teixeira <i>et al.</i>	resíduos			629
(2019)	alimentares e	45 dias	35°C	NmL/gSTV
	lodo anaeróbio.			

---

Segundo Da Silva *et al.* (2018), o teste BMP é uma técnica analítica bem difundida por muitos profissionais acadêmicos e técnicos para determinar a produção máxima de metano de um determinado substrato. Kunz, Steinmetz e Amaral (2019) afirmam que a produção de biogás deve ser sempre expressa em forma normalizada às CNTP (273K e 1.013 hPa). A Equação (1) é utilizada para normalização:

$$V_N = \frac{V \cdot (p - p_w) \cdot T_0}{p_0 \cdot T} \quad (1)$$

Onde:  $V_N$  = Volume de biogás normalizado às condições normais de temperatura e pressão (mL, L ou  $m^3$ ),  $V$  = Volume de biogás produzido (mL, L ou  $m^3$ ),  $p$  = Pressão do biogás no momento da leitura (hPa),  $p_w$  = Pressão de vapor da água em função da temperatura ambiente (hPa),  $T_0$  = Temperatura nas condições normalizadas, 273 K,  $p_0$  = Pressão nas condições normalizadas, 1,013 hPa,  $T$  = Temperatura do biogás (K).

O acompanhamento desta produção de biogás é feito a partir da medição da pressão realizada diariamente antes e após a remoção do biogás formado, por meio de um manômetro de precisão. Desta forma, é possível quantificar o volume de biogás gerado e conseqüentemente o de metano produzido por meio do teste BMP. Mediante o contexto evidencia a importância de testes laboratoriais para avaliar o substrato e seu potencial de geração de biogás, após estas análises é importante realizar uma análise elementar para detectar os elementos presentes do biogás.

## 6 REFERÊNCIAS

AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L.; FORESTI, E.; DOS SANTOS, M. de L. F.; MONTEGGIA, L. O. Metodologias para determinação da atividade metanogênica específica (AME) em lodos anaeróbios. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 192–201, 2007.

ARAÚJO, Ana Paula Caixeta. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico**. 2017. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.

BIBRA, M.; WANG, J.; SQUILLACE, P.; PINKELMAN, R.; PAPENDICK, S.; SCHNEIDERMAN, S.; WOOD, V.; AMAR, V.; KUMAR, S.; SALEM, D.; SANI, R. K. Biofuels and value-added products from extremophiles. *In*: BAI, F.; BORTH, N.; BUTLER, M.; CHOU, C. P.; KOFFAS, M. **Advances in Biotechnology**, v. 33, 8 ed. International Publishing House New Delhi, 2015. cap. 2, p. 17-51.

CASTRO, L. R. DE; CORTEZ, L. A. B. Influência da temperatura no desempenho de biodigestores com esterco bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 2, n. 1, p. 97-102, 1998.

CHERNICHARO, C. A. L. de. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. v. 5, 379 p.

CHERNICHARO, C. A. de L.; STUETZ, R. M.; SOUZA, C. L.; DE MELO, G. C. B. Alternatives for the control of odorous emissions in anaerobic reactors treating domestic wastewater. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 49, n. 31, p. 229–36, 2010.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para energia**. 1 ed. Campinas: Unicamp, 2008. 732 p.

EPE-EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. 2018. **Balanco Energético Nacional 2018**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>.

FERREIRA, Bernado Ornelas. **Avaliação de um sistema de metanização de resíduos alimentares com vistas ao aproveitamento energético do biogás**. 2015. 124 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.

FREITAS, F. F.; DE SOUZA, S. S.; FERREIRA, L. R. A.; OTTO, R. B.; ALESSIO, F. J.; DE SOUZA, S. N. M.; VENTURINI, O. J.; ANDO JUNIOR, O. H. The brazilian market of distributed biogas generation: overview, technological development and case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 101, p. 146–57, 2019.

GRANATO, Eder Fonzar. **Geração de Energia Através Da Biodigestão Anaeróbica Da Vinhaça**. 2003. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) - Campus de Bauru, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual do Estado de São Paulo, Bauru, 2003.

IPEA. **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos: Relatório de Pesquisa**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 2012. 82 p.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. do. **Fundamentos da digestão anaeróbica, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. 1 ed. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019. 209 p.

LUSTOSA, Gleidson Neres; DE MEDEIROS, Ícaro Hendrix Borges. **Proposta de um biodigestor anaeróbico modificado para a produção de biogás e biofertilizante a partir de resíduos sólidos orgânicos**. 2014. 72 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil e Ambiental) - Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

MACEDO, Yasmine Samara Lobo. **Análise do uso de um biodigestor modelo caseiro para geração de biogás através da fermentação de esterco de frango**. 2019. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, 2019.

MARTIN, Jerry Hughes. **A new method to evaluate hydrogen sulfide removal from biogas**. 2008. 87 f. Thesis (Master of Science Biological and Agriculture Engineering) - North Carolina State University, Raleigh, 2008.

PENNA, Jorge Adílio. **Estudo da metodologia do teste de atividade metanogênica específica**. 1994. 182 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade São Paulo, São Carlos, 1994.

ROCHA, Alexandre Prado. **Desempenho de filtro biológico na depuração e desodorização de emissões de sulfeto de hidrogênio**. 2007. 119 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SCARLAT, N.; DALLEMAND, J. F.; FAHL, F. 2018. Biogas: developments and perspectives in Europe. **Renewable Energy**, v. 129, p. 457–72, 2018.

DA SILVA, C.; ASTALS, S.; PECES, M.; CAMPOS, J. L.; GUERRERO, L. Biochemical Methane Potential (BMP) Tests: reducing test time by early parameter estimation. **Waste Management**, v. 71, p. 19–24, 2018.

SILVA, G. A.; MORAIS, J. A.; ROCHA, E. R. Proposta de procedimento operacional padrão para o teste do potencial bioquímico do metano aplicado a resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 11–16, 2016.

SILVA, Marjorye Boldrini da. **Influência do tipo de meio suporte no desempenho de biofiltros aplicados à remoção de H<sub>2</sub>S do ar atmosférico em sistemas de esgoto**

**sanitário**. 2008. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2008.

SOUZA, C. L.; AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L. Determinação da biodegradabilidade anaeróbia e aeróbia da espuma produzida em reatores uasb tratando esgotos domésticos. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE BIOPROCESSOS, 15., 2005, Recife, PE. **Anais** [...] Recife, PE, 2005.

SZYMANSKI, M. S. E.; BALBINOT, R.; SCHIRMER, W. N. Biodigestão anaeróbia da vinhaça : aproveitamento energético do biogás e obtenção de créditos de carbono – Estudo de caso. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 4, p. 901–912, 2010.

TEIXEIRA, R. A.; BUENO, B. A.; BORGES, R. M.; BRINGHENTI, J. R. Avaliação da co-digestão anaeróbica de borra de café e resíduos alimentares visando otimizar a biodegradação e a produção de biogás. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30., 2019, Natal, RN. **Anais** [...] Natal, RN, 2019.

VERONEZE, M. L.; SCHWANTES, D.; GONÇALVES, A. C.; RICHART, A.; MANFRIN, J.; SCHILLER, A. da P.; SCHUBA, T. B. Production of Biogas and Biofertilizer Using Anaerobic Reactors with Swine Manure and Glycerin Doses. **Journal of Cleaner Production**, v. 213, p. 176–84, 2019.

## PANORAMA ESTATÍSTICO DO BIOGÁS NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

**Everaldo V. Pinto<sup>1</sup>, Júlio A. Silvano<sup>2</sup>, Marcos A. C. Moreira<sup>3</sup>, Flávia R. V. Fernandes<sup>4</sup>, Adriano H. Ferrarez<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Instituto Federal Fluminense, Campus Macaé, \*email: epintovieira72@gmail.com.

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Instituto Federal Fluminense, Campus Macaé.

<sup>3</sup>Instituto Federal Fluminense, Campus Macaé.

<sup>4</sup>Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campus Macaé.

<sup>5</sup>Instituto Federal Fluminense, Campus Itaperuna.

**RESUMO:** O Brasil tem atuado arduamente com ações afirmativas de melhoria da eficiência energética no Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7: Energia Limpa e Acessível, que inclui como meta aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global. Diante disso, espera-se com o presente trabalho contribuir com o acesso à pesquisa e tecnologias de energia mais limpas ao apresentar o panorama estatístico temporal da produção de energia através de biomassa a compor a matriz energética do país. Conclui-se que o modelo energético brasileiro tem um potencial de expansão, principalmente no que resulta em investimento de energias renováveis. A avaliação de regulamentações também é extremamente importante e deve ser abrangente em relação às políticas que podem afetar a produção e o consumo de energia, incluindo mudanças climáticas, gestão ambiental, controle da poluição, indústria, comércio e impostos. A revisão também deve ser conduzida com relação ao seu impacto potencial nas escolhas de energia renovável.

**Palavras-chave:** Biogás. Matriz Energética. Panorama Estatístico.



**ABSTRACT:** Brazil has been working hard with affirmative actions to improve energy efficiency in the 7th Sustainable Development Goal: Clean and Affordable Energy. It includes a target to substantially increase the share of renewable energy in the global energy matrix. In view of this, it is expected with the present work to contribute to the access to cleaner energy research and technologies by presenting the periodic time statistical scenario of energy production through biomass that comprises the country's energy matrix. It concludes that the Brazilian energy model has a potential for expansion, especially as the result of investment on renewable energy. Regulatory assessment is also extremely important and must be comprehensive in relation to policies that can affect energy production and consumption, including climate change, environmental management, pollution control, industry, trade and taxes. The model review should also be conducted with respect to its potential impact on renewable energy choices.

**Keywords:** Biogas. Energy Matrix. Statistical Scenario.

## 1 INTRODUÇÃO

Fontes renováveis de energia a partir de biomassa representam potencial de crescimento no cenário mundial por serem consideradas as principais alternativas para diversificação da matriz energética e redução da dependência do uso de combustíveis petrolíferos (BORGES *et al*, 2017). Sendo a biomassa um importante insumo de uso energético, pois desenvolve a sustentabilidade local por meio da geração de energia e renda através do aproveitamento dos subprodutos.

O Brasil se destaca no cenário internacional e possui a matriz energética mais renovável do mundo industrializado, com 42,8% de sua produção proveniente de fontes renováveis, como recursos hídricos, biomassa e etanol, além das energias eólica e solar. A proporção de fontes renováveis na Oferta Interna de Energia Elétrica - OIEE permaneceu acima de 80%, em 2017 (MME, 2017). No entanto, será um desafio para as próximas décadas manter este percentual, considerando as perspectivas de crescimento

da população até a década de 2040, que não haja mais demanda reprimida de energia na população e que o consumo de energia se eleve com o aumento da renda.

Diante disso, e considerando o compromisso que o Brasil assumiu com a Organização das Nações Unidas (ONU) frente ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7 (ODS 7) da Agenda 2030, que inclui como meta aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global, o presente trabalho objetivou o levantamento e análise de dados relacionados à capacidade instalada de termelétricas para produção de energia tendo como fonte combustível a biomassa no Brasil, entre os anos de 2012 e 2017. E ainda, uma análise comparativa entre as diversas fontes geradoras de energia utilizadas no país, com foco na energia proveniente do Biogás.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos a partir da base de dados abertos da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), diretamente da seção de informações gerenciais do portal da agência reguladora, abrangendo o período do primeiro trimestre de 2012 até o quarto trimestre de 2017. Para o presente estudo as variáveis definidas foram: a) Número de usinas termelétricas instaladas, que indica em unidades a quantidade de termelétricas instaladas em todo o país; b) Potência instalada de termelétricas, que quantifica a capacidade total de geração de energia elétrica através de termelétricas, com conversão em sua unidade para Watt (W) e c) Produção de energia elétrica, que quantifica a geração efetiva de energia, em MegaWatt hora (MWh). A geração de energia elétrica a partir do Biogás, fonte de energia alternativa e renovável, pôde ser avaliada após a obtenção, sistematização e análises estatísticas alicerçadas na temporaneidade dos dados, constituindo assim um panorama da utilização deste recurso no Brasil entre os anos de 2012 e 2017.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta o panorama de desenvolvimento das atividades das áreas de produção de energia a partir do biogás junto a usinas termelétricas no Brasil, trimestralmente no período de 2012 a 2017.

**Tabela 1 - Produção de Energia Elétrica (MWh) - Termelétricas - Biogás - Brasil - 2012 a 2017**

PERÍODO		TOTAL NACIONAL	% - FONTE BIOMASSA	FONTE BIOMASSA	% - BIOGÁS	FONTE BIOGÁS
2012	1º TRIM	134.297.000,00	0,000	0,00	0,002	0,00
	2º TRIM	128.605.000,00	0,001	128.605,00	0,002	257,21
	3º TRIM	126.922.000,00	0,002	253.844,00	0,002	507,69
	4º TRIM	134.757.000,00	0,003	404.271,00	0,002	808,54
2013	1º TRIM	133.457.000,00	0,001	133.457,00	0,002	266,91
	2º TRIM	261.134.000,00	0,004	1.044.536,00	0,002	2089,07
	3º TRIM	130.899.000,00	0,003	392.697,00	0,002	785,39
	4º TRIM	137.572.000,00	0,002	275.144,00	0,002	550,29
2014	1º TRIM	144.751.000,00	0,000	0,00	0,002	0,00
	2º TRIM	132.236.000,00	0,002	264.472,00	0,002	528,94
	3º TRIM	128.765.000,00	0,002	257.530,00	0,0018	463,55
	4º TRIM	136.485.000,00	0,002	272.970,00	0,0018	491,35
2015	1º TRIM	145.074.000,00	0,003	435.222,00	0,0017	739,88
	2º TRIM	130.404.000,00	0,012	1.564.848,00	0,0018	2816,73
	3º TRIM	131.757.000,00	0,018	2.371.626,00	0,002	4743,25

	<b>4º TRIM</b>	137.293.000,00	0,014	1.922.102,00	0,002	3844,20
<b>2016</b>	<b>1º TRIM</b>	139.635.000,00	0,006	837.810,00	0,0022	1843,18
	<b>2º TRIM</b>	133.392.000,00	0,017	2.267.664,00	0,0021	4762,09
	<b>3º TRIM</b>	131.056.000,00	0,020	2.621.120,00	0,0028	7339,14
	<b>4º TRIM</b>	135.218.000,00	0,014	1.893.052,00	0,0028	5300,55
<b>2017</b>	<b>1º TRIM</b>	145.998.000,00	0,007	1.021.986,00	0,0028	2861,56
	<b>2º TRIM</b>	133.025.000,00	0,018	2.394.450,00	0,0029	6943,91
	<b>3º TRIM</b>	131.786.000,00	0,025	3.294.650,00	0,0031	10213,42
	<b>4º TRIM</b>	138.954.000,00	0,018	2.501.172,00	0,0032	8003,75

A análise dos dados evidencia a possibilidade de energia gerada de forma sustentável com redução de prejuízos ao meio ambiente, todavia a geração é instável, oscilando seu quantitativo entre baixa produção e níveis acima do esperado. É possível constatar, a partir da análise temporal representada na Figura 1, que nos anos de 2012 e 2014 houve momentos de interrupção na produção de energia nestas termelétricas.

**Figura 1 - Estimativa Trimestral de Produção de Energia (MWh) em Termelétricas à Biogás no Brasil no período de 2012 a 2017**

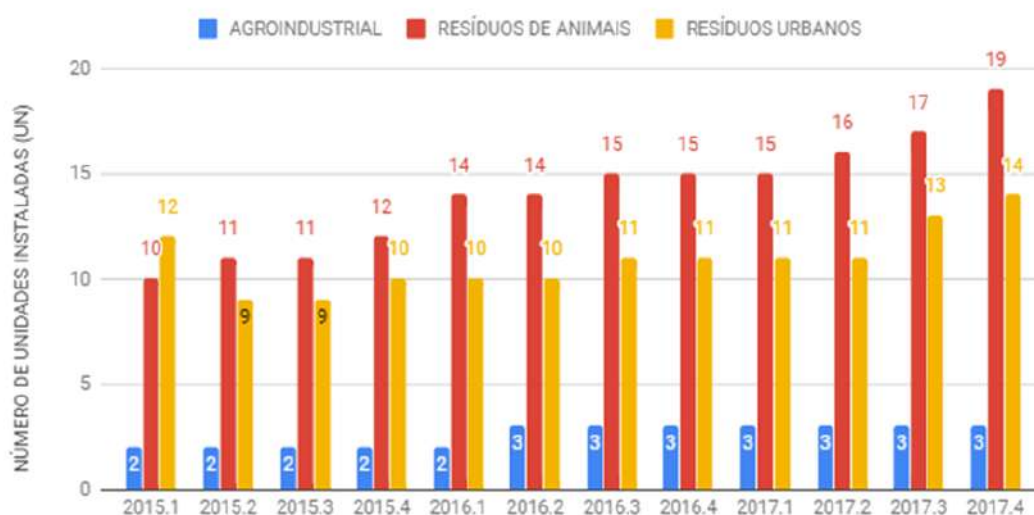


Fonte: Elaborado pelos autores.

Em um comparativo, observa-se que a produção de energia nos anos de 2013, 2015, 2016 e 2017 foram expressivamente maiores que em 2012 e 2014. Com efeito, nos anos de 2016 e 2017 a produção de energia exibe um salto considerável, indicando o fortalecimento desta parcela do setor causado por aumento nos investimentos.

A evolução temporal de unidades termelétricas a biogás no Brasil, por trimestre no período de 2015 a 2017, instaladas e com a particularidade da biomassa utilizada para geração de energia é apresentada na Figura 2, e destaca o crescimento acentuado na biomassa de resíduos animais, na ordem de quase 100% de crescimento no período em estudo. Portanto, fica evidenciado que há uma grande importância de aperfeiçoamento das técnicas de produção de biogás, de modo a termos uma série temporal consolidada dentre as diversas técnicas possíveis de geração de energia com fontes renováveis.

**Figura 2 - Evolução Temporal de Unidades Termelétricas a Biogás no Brasil, por trimestre no período de 2015 a 2017**



Fonte: Elaborado pelos autores.

#### 4 CONCLUSÕES

O Brasil assumiu o compromisso de implementar ações afirmativas de melhoria da eficiência energética relacionadas com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 7. Os dados apresentados mostram um aumento na geração de energia elétrica a partir da biomassa no período avaliado, entretanto esse incremento está aquém do enorme potencial brasileiro para a geração de energia a partir dessa fonte. Importante reforçar que a não priorização do tema não afeta só as pessoas e a qualidade de vida delas, mas também a natureza, os animais e todo o planeta.

#### 5 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Boletim de Informações Gerenciais**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/pt/informacoes-gerenciais>. Acesso em: 08 nov. 2018.

BORGES, A. C. P.; SILVA, M. S.; ALVES, C. T.; TORRES, E. A. Energias Renováveis: Uma Contextualização da Biomassa como Fonte de Energia. **REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 10, n. 2, p. 23-36, 2017.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME, Departamento de Informações e Estudos Energéticos - SPE/MME, **Balanco Mensal de Energia**, julho de 2017.

NAÇÕES UNIDAS NO BRASIL – ONU BR. **A Agenda 2030**. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 08 nov. 2018.

## REDUÇÃO ELETROQUÍMICA DE CO<sub>2</sub> UTILIZANDO ELETROCATALISADORES DE COBRE COM FENANTROLINA

Nicolas A. Ishiki<sup>1</sup>, Maykon L. Souza<sup>1</sup>, Fabio H. B. Lima\*<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Química, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, \*e-mail: nicolas-ishiki@usp.br.

**RESUMO:** A Redução Eletroquímica de CO<sub>2</sub> (RECO<sub>2</sub>) tem-se demonstrado promissora para a mitigação do aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera. Neste trabalho, foi avaliada a atividade eletrocatalítica de eletrodos de cobre, com adição de fenantrolina no eletrólito, frente a RECO<sub>2</sub>, utilizando-se espectrometria de massas diferencial eletroquímica (DEMS) e cromatografia gasosa (CG), para o monitoramento e quantificação da distribuição de produtos. Uma evidente seletividade para eteno (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>) foi observada, com supressão de metano (CH<sub>4</sub>) e monóxido de carbono (CO). Para o efeito considerado, o sistema deve ser mantido previamente em circuito aberto, possivelmente para a estabilização, pela amina, das espécies de cobre oxidado. Experimentos eletroquímicos demonstraram que há fenantrolina adsorvida na superfície e resultados espectroscópicos indicaram sinais da amina apenas quando foi aplicado potencial. Embora o mecanismo operante ainda seja incerto, é possível que a fenantrolina na superfície esteja atuando em conjunto com o cobre, para uma melhor estabilização da molécula de CO<sub>2</sub>, e, conseqüentemente, otimizando a via para formação de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>.

**Palavras-chave:** Cobre. Fenantrolina. RECO<sub>2</sub>.

**ABSTRACT:** The Electrochemical Reduction of CO<sub>2</sub> (CO<sub>2</sub>RR) has shown promise for mitigating the increase in the concentration of CO<sub>2</sub> in the atmosphere. In this work, was evaluated the electrocatalytic activity of copper electrodes, with addition of phenanthroline in the electrolyte for the CO<sub>2</sub>RR. By using differential electrochemical mass spectrometry

(DEMS) and gas chromatography (GC), the reaction products were monitored and quantified. An evident selectivity for ethylene ( $C_2H_4$ ) was observed, with suppression of methane ( $CH_4$ ) and carbon monoxide (CO). For the purpose considered, the system must be previously maintained in open circuit, possibly for the amine stabilization of oxidized copper species. Electrochemical experiments demonstrated that there is phenanthroline adsorbed on the surface and spectroscopic results indicated signs of the amine only when potential was applied. Although the operating mechanism still uncertain, it's possible that the phenanthroline on the surface is acting together with copper, for a better stabilization of the  $CO_2$  molecule, consequently optimizing the pathway for the formation of  $C_2H_4$ .

**Keywords:** Copper. Phenanthroline.  $CO_2RR$ .

## 1 INTRODUÇÃO

O dióxido de carbono ( $CO_2$ ) é protagonista no efeito estufa, porém a sua concentração atual na atmosfera ultrapassou o limite seguro de 350 ppm, atingindo 414 ppm (NASA, 2020). Entre as possíveis soluções, a Redução Eletroquímica de  $CO_2$  ( $RECO_2$ ) tem-se demonstrado promissora, se inspirando em fenômenos da natureza para atuar na mitigação deste problema.

Hori *et al.* (1988) utilizaram eletrodos de cobre na  $RECO_2$ , obtendo produtos como  $CH_4$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_5OH$ ,  $C_3H_7OH$ , CO e  $HCO_2^-$ , além de  $H_2$  devido a eletrólise paralela da água, demonstrando que este metal é o único capaz de se obter hidrocarbonetos e álcoois com considerável densidade de corrente. Devido à grande quantidade de produtos gerados, tem-se buscado uma maior seletividade na reação. Uma das alternativas é a adição de aminas heterocíclicas no meio reacional, Seshadri, Lin e Bocarsly (1994) foram os pioneiros neste estudo e, utilizando a molécula de piridina, obtiveram eficiência faradaica próxima de 30% para metanol em eletrocatalisadores de paládio. Variações de aminas e o mecanismo operante continuaram em estudo, Marjolin e Keith (2015) demonstraram por cálculos teóricos que derivados de piridina, como a



fenantrolina, nas condições de  $\text{RECO}_2$ , são favorecidos termodinamicamente à formação das espécies di-hidrogenadas. Embora não haja nenhuma evidência experimental da formação destas espécies durante a reação, Giesbrecht e Herbert (2017) adicionou-as diretamente à solução e obtiveram resultados semelhantes.

Embora os mecanismos estejam ainda sob discussão, os resultados com aminas heterocíclicas para a  $\text{RECO}_2$  são evidentes. A fenantrolina, por exemplo, possui propriedades semelhantes à piridina, portanto, o efeito eletrônico que esta molécula pode exercer, sobre o processo de adsorção e transformação do  $\text{CO}_2$  na superfície de eletrodos de cobre, torna sua investigação particularmente interessante em relação à  $\text{RECO}_2$ . Curiosamente, até onde se tem conhecimento, não há nenhum trabalho reportado na literatura com essa configuração. Desta forma o presente trabalho pretende ampliar a discussão a respeito do tema e pode também apresentar um importante acréscimo para a área de fotossíntese artificial.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se como eletrólito  $\text{KHCO}_3$  0,1 mol  $\text{L}^{-1}$ , saturado com Ar ou  $\text{CO}_2$ , e, quando explicitado, adicionou-se 1,10-fenantrolina 0,001 mol  $\text{L}^{-1}$ . Como contra eletrodo foi utilizado uma placa de Pt, o eletrodo de trabalho uma placa de Cu com área de 1,30  $\text{cm}^2$ , ou folha de 0,37  $\text{cm}^2$  para experimentos de espectrometria de massas diferencial eletroquímica (DEMS). O eletrodo de referência utilizado foi de Ag/AgCl em KCl sat. e o potencial foi convertido para a escala de Eletrodo Reversível de Hidrogênio (ERH). O potenciostato utilizado foi da marca Autolab, modelo PGSTAT204, e uma sonda com suporte foi acoplada à célula para monitoramento *on-line* no DEMS.

Medidas de Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier modo de Reflexão Atenuada Total (ATR-FTIR) foram realizadas em um espectrômetro Vertex 70v vacuum Bruker, provido de detector LN-MCT Mid e janela de diamante, com varredura entre 630-3800  $\text{cm}^{-1}$ . Para a detecção do espalhamento de luz em menores números de onda (100-1600  $\text{cm}^{-1}$ ), utilizou-se um Espectrômetro RAMAN LabRAM

Evolution (Horiba), laser incidente de 630 nm e lente de aumento 100x. Para a quantificação utilizou-se um Cromatógrafo Gasoso (CG) Shimatzu GC-2014, equipado com coluna carboxen 1010, e com detectores de FID e TCD. A área obtida foi integrada e, em conjunto com a corrente aplicada, calculou-se a eficiência faradaica.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fim de uma caracterização eletroquímica, realizou-se medidas de voltametria em potenciais negativos para eletrodos de cobre com fenantrolina em solução (CuFEN) e sem (CuBulk). Observou-se um pico de corrente catódica, com alta densidade de corrente, em -0,43 V, no caso de CuBulk, sendo relacionado à redução de espécies oxidadas de cobre na superfície do eletrodo. Este pico não aparece quando em atmosfera inerte de Ar e nem na 5ª varredura, assim, é provável que esta primeira varredura atue como um “protocolo de limpeza” ou ativação da superfície, pois expõe o cobre metálico a partir da redução citada.

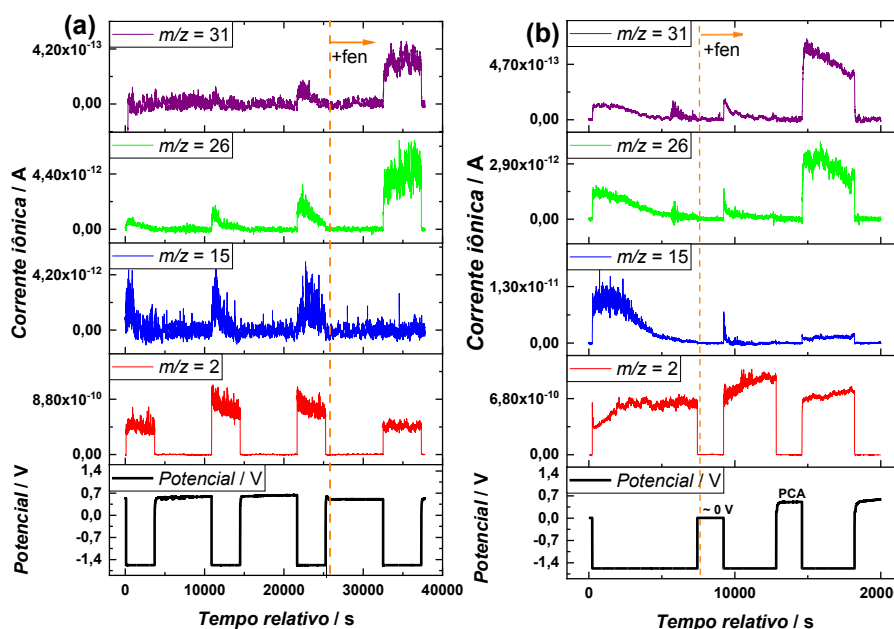
O pico mencionado também não foi observado quando se tem fenantrolina (CuFEN), e a este resultado, atribuiu-se à adsorção da amina na superfície, que estabiliza as moléculas de cobre oxidado. Pequenos picos com densidade de corrente negativa na região entre -0,8 e -0,5 V foram atribuídos à redução eletroquímica da fenantrolina na superfície (SHUL; WEISSMAN; BÉLANGER, 2014). Também fica nítido que, na presença da fenantrolina, há uma diminuição na corrente faradaica e o deslocamento do potencial de início de reação para valores mais negativos, indicando a adsorção da amina, bloqueando parcialmente a superfície.

Utilizando-se das técnicas espectroscópicas de ATR-FTIR e RAMAN, foram obtidos espectros da folha de cobre em diferentes condições. As folhas de cobre submetidas apenas à condição de Potencial de Circuito Aberto (PCA) por 30 minutos, com e sem fenantrolina, não demonstraram nenhum sinal característico de absorção ou espalhamento, diferentemente da folha de cobre que se manteve em PCA com fenantrolina por 30 minutos, e após, foi submetida à um potencial de -1,2 V por 1h. Neste

caso, foi observado um espectro semelhante ao da fenantrolina, com um pequeno deslocamento para maiores números de onda. Estes deslocamentos, de acordo com Zawada e Bukowska (2000), sugerem que a superfície de cobre está modificada por uma espécie de complexo 1:1 com a fenantrolina, possivelmente com o cobre (I).

Com as medidas *on-line* realizadas por DEMS, foi possível observar uma reativação da superfície e uma nítida seletividade para eteno ( $m/z=26$ ) e álcoois ( $m/z=31$ ), quando é adicionada fenantrolina no eletrólito, reduzindo o sinal de hidrogênio ( $m/z=2$ ) e suprimindo o sinal de metano ( $m/z=15$ ) (Figura 1). Entretanto, o efeito só foi observado quando o sistema é mantido previamente em PCA (Figura 1a). Mantendo-se o potencial em 0 V durante todo o experimento, para evitar a oxidação da superfície, nenhuma diferença significativa foi observada (Figura 1b), obtendo-se o efeito apenas após PCA. Estes resultados indicam a necessidade da oxidação de cobre na superfície, que ocorre em PCA, para a consequente estabilização dessas espécies pela fenantrolina.

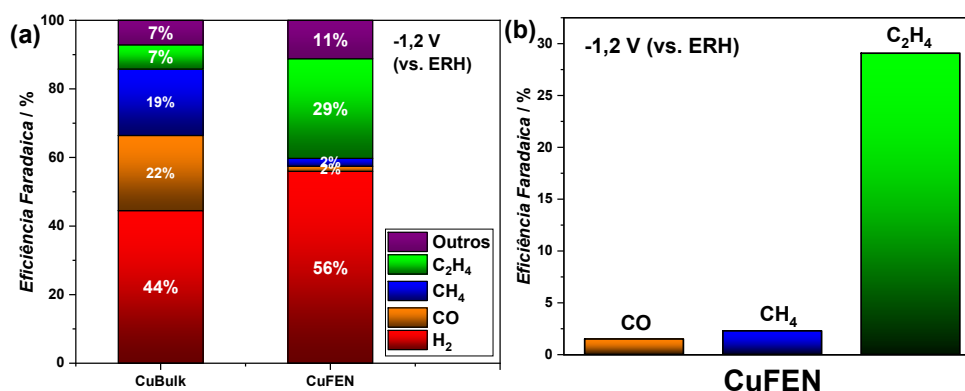
Figura 1 - PCA em todo experimento (a) e PCA após 2ª polarização (b)



Fonte: Elaborado pelos autores.

Desta forma, realizaram-se experimentos para a quantificação dos produtos gerados por meio da técnica de CG. Foram feitas cronoamperometrias por 1h, e a comparação dos resultados para cobre com fenantrolina (CuFEN) e sem (CuBulk) (Figura 2a), mostra um aumento da seletividade para  $C_2H_4$ , enquanto há supressão de  $CH_4$  e CO. Este resultado se torna mais nítido comparando apenas os produtos gasosos da  $RECO_2$  (Figura 2b).

**Figura 2 - Eficiência faradaica dos produtos gasosos. Comparação entre CuBulk e CuFEN (a) e comparação entre os produtos gasosos da  $RECO_2$  (b)**



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados obtidos mostraram que a adição da fenantrolina no eletrólito promove um aumento significativo na seletividade para  $C_2H_4$ , enquanto suprime CO e  $CH_4$ . Embora o mecanismo atuante seja incerto, é possível que a espécie reduzida da fenantrolina esteja participando em conjunto com a superfície de cobre, estabilizando a molécula de  $CO_2$ , e assim, permitindo uma maior capacidade de hidrogenação e acoplamento C-C, resultando no aumento em  $C_2H_4$ .

#### 4 CONCLUSÕES

A adição de fenantrolina no eletrólito gerou um aumento na seletividade para  $C_2H_4$ . Os resultados de DEMS mostraram que o efeito só ocorre quando o sistema é

mantido em circuito aberto. Entretanto, dados espectroscópicos demonstraram sinal de fenantrolina apenas com posterior aplicação de potencial. Os experimentos eletroquímicos indicaram que a fenantrolina se adsorve na superfície para estabilização das espécies de cobre oxidado. Embora o mecanismo operante ainda seja incerto, é possível que a fenantrolina esteja atuando juntamente com a superfície de cobre para uma maior estabilização da molécula de CO<sub>2</sub>, otimizando a via de formação de C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>.

## 5 AGRADECIMENTOS

Fapesp, CNPq e Capes.

## 6 REFERÊNCIAS

GIESBRECHT, P. K.; HERBERT, D. E. Electrochemical reduction of carbon dioxide to methanol in the presence of benzannulated dihydropyridine additives. **ACS Energy Letters**, v. 2, n. 3, p. 549-555, 2017.

HORI, Y.; MURATA, A.; TAKAHASHI, R.; SUZUKI, S. Enhanced formation of ethylene and alcohols at ambient temperature and pressure in electrochemical reduction of carbon dioxide at a copper electrode. **Journal of the Chemical Society**, v. 1, p. 17-19, 1988.

MARJOLIN, A.; KEITH, J. A. Thermodynamic descriptors for molecules that catalyze efficient CO<sub>2</sub> electroreductions. **ACS Catalysis**, v. 5, n. 2, p. 1123-1130, 2015.

NASA. **Global Climate Change**. Disponível em: <https://climate.nasa.gov>. Acesso em: 10 out. 2020.

SESHADRI, G.; LIN, C.; BOCARSLY, A. B. A new homogeneous electrocatalyst for the reduction of carbon dioxide to methanol at low overpotential. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 372, n. 1, p. 145-150, 1994.

SHUL, G.; WEISSMANN, M.; BÉLANGER, D. Electrochemical Formation of an Ultrathin Electroactive Film From 1,10-Phenanthroline on a Glassy Carbon Electrode in Acidic Electrolyte. **Langmuir**, v. 30, n. 22, p. 6612-6621, 2014.

ZAWADA, K.; BUKOWSKA, J. An interaction of 1,10-phenanthroline with the copper electrode in neutral and acidic aqueous solutions: a surface enhanced Raman scattering study. **Journal of Molecular Structure**, v. 555, n. 1-3, p. 425-432, 2000.

## RELAÇÃO ENTRE ENERGIA EÓLICA E MEIO AMBIENTE

Tiago A. Rodrigues<sup>\*1</sup>, Aline K. A. Rodrigues<sup>\*2</sup> Albermec M. Moraes<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mestrado Profissional em Climatologia e Aplicações nos Países da CPLP e África, Universidade Estadual do Ceará, \*e-mail: tialro1997@gmail.com.

<sup>2</sup>Mestrado Acadêmico em Patologia, Universidade Federal do Ceará.

<sup>3</sup>Mestrado Profissional de Climatologia e Aplicações nos Países da CPLP e África, Universidade Estadual do Ceará.

**RESUMO:** Este estudo se propõe analisar os impactos ambientais ocasionados por usinas eólicas. Em tempos de grande demanda energética, há tensões entre empresas do setor elétrico e grupos sociais, no foco desse embate, estão os recursos naturais e ambientais. Mesmo com todos os impactos gerados, essa forma de gerar energia possibilita cenários ecologicamente superiores, em virtude de ser uma fonte sustentável, ilimitada e produzir poucos danos ambientais. Foram analisados dados coletados em periódicos e artigos científicos referentes ao período de janeiro de 2010 a janeiro de 2020. Nesse contexto, este trabalho tem por objetivo fazer uma revisão da literatura sobre os empreendimentos de energia eólica e seus efeitos ambientais. Para verificar as consequências negativas decorrentes dessa tecnologia, a presente pesquisa buscou relacionar os danos ambientais aos projetos implantados em locais inadequados. Dessa forma, nota-se que os investimentos em energia eólica devem ser alentadores, os danos ambientais podem ser significativamente diminuídos com planejamentos adequados.

**Palavras-chave:** Usinas. Impactos. Ventos.

**ABSTRACT:** This study aims to analyze the environmental impacts caused by wind farms. In times of great energy demand, there are tensions between companies in the electricity sector and social groups, in the focus of this clash are natural and environmental

resources. Even with all the impacts generated, this way of generating energy allows ecologically superior scenarios, as it is a sustainable, unlimited source and produces little environmental damage. Data collected in journals and scientific articles for the period from January 2010 to January 2020 were analyzed. In this context, this study aims to review the literature on wind energy projects and their environmental effects. In order to verify the negative consequences resulting from this technology, the present research sought to relate the environmental damage to projects implemented in inappropriate places. Thus, it is noted that investments in wind energy must be encouraging, environmental damage can be significantly reduced with adequate planning.

**Keywords:** Power plants. Impacts. Winds.

## 1 INTRODUÇÃO

O setor eólico e seus impactos de ordem ambiental estão intimamente relacionados à segurança da vida selvagem, ruídos, poluição visual e mudanças climáticas locais. Estas questões podem ser agrupadas em efeitos ecológicos, danos aos seres humanos e questões relacionadas ao clima. Vale ressaltar que esse padrão energético é praticamente inesgotável, as energias renováveis podem apresentar efeitos ambientais baixíssimos, sem afetar o balanço térmico ou a composição atmosférica da Terra (NASCIMENTO; ALVES, 2016).

Os egípcios foram os primeiros povos a compreender a eficácia dos ventos para as atividades humanas, ao utilizar velas para movimentar as embarcações a cerca de 2800 a.C (NASCIMENTO; SIIVA, 2016). Há também registros históricos do manejo dos ventos em outras partes do mundo como a China e o Império Babilônico direcionado a irrigação. Posteriormente, os persas iniciaram, em 700 d.C. aplicar a força dos ventos para atividades agrícolas (NASCIMENTO; SIIVA, 2016). É importante salientar que a energia eólica era empregada para bombear água e moer grãos. Esse tipo de moinho ganhou bastante fama no mundo islâmico, perdurando por vários séculos.

Com o retorno das cruzadas e a troca de costumes da cultura islâmica e europeia no decorrer do século XII, o uso sistemático de moinhos cresceu de forma significativa, merecendo destaque países como França, Holanda e Inglaterra (NASCIMENTO; SIIVA, 2016). O tipo de equipamento utilizado eram estruturas de eixo horizontal conhecido como moinho holandês. Na Região dos Flandres, durante o século XVI esse maquinário era usado na fabricação de óleo vegetal, papel e para acionar serrarias. Por conta desse rápido avanço da energia eólica, no século XIX a Holanda já possuía inúmeros moinhos de ventos em pleno funcionamento.

Atualmente, os Países Baixos possuem um grande potencial eólico que dá autonomia energética a essa nação europeia, fazendo com que a emissão de CO<sub>2</sub>, seja uma das menores do Velho Mundo. Tudo isso indica a preocupação de boa parte dos países europeus com o uso renovável de fontes energéticas e o interesse em se distanciar dos combustíveis fósseis: carvão e petróleo que são fontes altamente poluentes e contribuem de forma significativa para o aquecimento global. De acordo com (NASCIMENTO; ALVES, 2016) “a utilização dessas energias alternativas renováveis em substituição aos combustíveis fósseis é viável e vantajosa”.

A força dos ventos é uma abundante fonte de energia renovável, possui pouco impacto ambiental e fica disponível em todos os lugares do mundo. A utilização dessa modalidade energética para a obtenção de eletricidade em escala comercial é recente no Brasil. Tudo começou a pouco mais de 40 anos, no início da década de 70 (FLORES, 2017). Com a crise mundial do petróleo, houve um grande interesse de países europeus e dos Estados Unidos em desenvolver equipamentos para a produção de eletricidade que ajudassem a diminuir as dependências dos combustíveis fósseis.

No Brasil, o aproveitamento desses recursos eólicos era feito de maneira tradicional, utilizando cata-ventos múltiplas para bombeamento de água em áreas rurais. Algumas medições realizadas recentemente em diversos pontos do território nacional indicam a existência de um grande potencial eólico ainda não explorado no Nordeste. Os estados do Ceará e Pernambuco foram os primeiros a realizar levantamento de dados sobre o potencial comercial desses empreendimentos (NASCIMENTO; ALVES, 2016).



Devemos notar que “o Brasil possui um gigantesco potencial de geração de energia e possui vantagem em relação aos outros países no que se refere a alternativas renováveis de energia” (NASCIMENTO; ALVES, 2016).

Em 1998 foi elaborada a primeira versão do atlas eólico do Brasil, que possui o objetivo principal de desenvolver modelos atmosféricos e analisar dados de ventos e elaborar informações confiáveis para o desenvolvimento da energia trazida pelos ventos (BARBOSA *et al*, 2010). Fontes renováveis são essenciais em todas as economias, a geração é destinada para o aquecimento, iluminação, equipamentos industriais e transportes. Em um mundo envolto a uma catástrofe anunciada, modelos energéticos que não oferecem danos ao meio ambiente reduzem significativamente a emissão de gases de efeito estufa. É importante enfatizar que deve “ser discutido limites operacionais seguros para a humanidade em relação a questões críticas decorrentes da ocupação humana na Terra” (ARTAXO, 2014).

O suprimento de energia renovável é obtido naturalmente através dos fluxos contínuos da atmosfera. Uma das principais características dessa matriz energética é a possibilidade de ser sustentável, ilimitada e produzir poucos danos ambientais. É preciso considerar que essa matriz energética está sendo expandida nessa ótica, com um modelo seguro, renovável e competitivo (FLORES, 2017).

### 1.1 Benefícios Ambientais

Apesar das vantagens notáveis das fontes renováveis, existem algumas deficiências, tais como: a descontinuidade da geração devido a variações sazonais, pois a maioria dos recursos de energia renovável depende do clima, por esse motivo a sua exploração exige métodos complexos de otimização de projeto, planejamento e controle. Felizmente, os contínuos avanços tecnológicos em hardware e software de computador estão permitindo que pesquisadores e cientistas lidem com essas dificuldades de aperfeiçoamento, usando recursos computacionais aplicáveis ao campo de energia renovável e sustentável.

A matriz energética eólica traz grandes vantagens por ter pouco impacto e ser renovável, pois é muito improvável que haja escassez de vento. “Ela vem apresentando um crescimento significativo de potência instalada, pois a mesma é uma das fontes energéticas renováveis mais extraídas no país, principalmente no Nordeste” (CAMELO *et al.*, 2017).

Acredita-se que a queima de combustíveis fósseis seja um dos principais fatores que contribuem para o aquecimento global. Pesquisadores da área de energia e profissionais da indústria direcionam sua atenção para as fontes renováveis, fazendo um esforço para reduzir a dependência de matrizes energéticas mais poluentes. Deve-se salientar que assegurar o uso de fontes energias renováveis é um dos maiores desafios enfrentados no mundo contemporâneo (LIRA *et al.*, 2011).

As tecnologias energéticas como: biomassas, eólicas e geotérmicas estão se desenvolvendo muito rapidamente e tornando-se mais competitivas comercialmente. Este aumento do uso de energia renovável deve levar a redução substancial das emissões de dióxido de carbono. É bom lembrar que para instigar o uso de formas de energia renováveis, esforços governamentais e não governamentais mundiais procuram substituir combustíveis e fogões tradicionais por tecnologias menos poluentes objetivando reduzir a emissão, com isso, melhorar a qualidade do ar em ambientes residenciais, proteger a saúde e reduzir os efeitos climáticos (GIODA, 2018).

## 1.2 Energias renováveis para mitigação dos efeitos do aquecimento global

Sabe-se que o aquecimento global, ocasionado pela interferência humana, impulsiona a elevação da temperatura da atmosfera e dos oceanos. A utilização de combustíveis fósseis para obtenção de energia e as ações antrópicas estão acelerando a produção de gases do efeito estufa, a principal consequência de tudo isso foi o prolongamento da temperatura média mundial no século XXI. É importante saber que o 4º Relatório do IPCC (2007) demonstra que nos últimos 100 anos vêm acontecendo um

aumento gradual na concentração dos GEE (Gases do Efeito Estufa) na atmosfera, sendo estimulado, principalmente pelas atividades antrópicas (ANTONIO; MANZI, 2011).

Nos últimos dez anos, a cobertura da camada gelo dos polos iniciou o processo de degelo, inundações, ondas de calor e aumento do nível do mar em cidades litorâneas tornaram-se algo corriqueiro. Contudo, presume-se que se a temperatura do planeta ultrapassar 1,5 °C, os impactos ao meio ambiente e a vida humana serão incalculáveis.

Portanto, um aquecimento superior a 1,5 °C não é inevitável geofisicamente, isso dependerá de taxas futuras de reduções de emissão (IPCC, 2018). O efeito estufa é um fenômeno natural e fundamental para a vida, ele garante o equilíbrio térmico do planeta. Esse fenômeno tem a capacidade de reter o calor como se fosse uma estufa de cultivo de plantas. O aumento desse evento é gerado pela desarborização e pela queima da cobertura vegetal, pois elas são responsáveis pela temperatura, ventos e o nível das chuvas em diversas regiões. Como as florestas estão diminuindo pelo mundo, a temperatura terrestre vem aumentando na mesma proporção.

Gases como o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) são os principais causadores do efeito estufa e geralmente são produzidos por grandes empresas e veículos, esses gases produzem uma nuvem de partículas em grandes aglomerados urbanos, dificultando que o calor se dissipe totalmente. A concentração de partículas de aerossóis atmosféricos da mesma forma afeta fortemente o balanço de radiação terrestre através do efeito radiativo imediato dos aerossóis bem como de seu efeito na modificação das propriedades e desenvolvimento de nuvens (ARTAXO, 2014).

Os campeões nas emissões desses gases são os Estados Unidos e China que possuem grandes polos industriais. Após a eleição do candidato republicano Donald Trump, as emissões de gases do efeito estufa deram um salto significativo. Para competir com o grande polo industrial chinês, o presidente americano passou a investir mais no setor de produção de carvão mineral, sendo um dos principais expoentes do negacionismo climático.

As práticas humanas não sustentáveis são as principais responsáveis pelo aquecimento global, ou seja, não garantem a existência dos recursos ambientais das futuras gerações. A produção, transporte e descarte inadequado do maquinário eólico emitem (GEE), porém comparado com produção de energia através de combustíveis fósseis, as fontes renováveis ajuda no processo de mitigação. Outro fator relevante é que após a Revolução Industrial e posteriormente, com o surgimento dos motores a combustão interna, o uso de combustíveis fósseis cresceu exponencialmente (ARTAXO, 2014).

Grande parte do modelo de energia brasileiro é hidráulico, essa matriz energética tem seus desafios. Para implantação de uma hidrelétrica é necessários grandes espaços para inundações, implicando no assoreamento do leito dos rios, o desmoronamento de barreiras, a extinção de algumas espécies de peixes, além dos impactos sociais relacionados ao deslocamento forçado das populações que ali viviam (NASCIMENTO; ALVES, 2016).

Já as minas de carvão mineral requerem bastante espaço para que haja escavações, transporte e a logística do material, contudo, o uso exacerbado de terras é mitigado quando ocorre a instalação de aerogeradores. Em um contexto global, a fonte energética mais utilizada para a fabricação de energia elétrica é de origem fóssil e não renováveis como o petróleo, o carvão mineral e o gás natural (NASCIMENTO; ALVES, 2016).

### 1.3 Poluições sonoras e visuais

As regiões de vento mais frequentes e constantes estão localizadas na faixa litorânea, no entanto, essas regiões detém grande parte da população do País. Essa proximidade gera disputa de interesses entre a população local e empresas fornecedoras de energia. É importante enfatizar que as emissões de ruídos podem ser de origem tanto mecânica quanto aerodinâmica, decorrente da velocidade de rotação que excede os 70 m/s (DUPONT *et al.*, 2016).

A poluição visual é um tipo de poluição moderna encontrada nos grandes centros urbanos. O termo designa o excesso de informações contidas em placas, postes 'outdoors', banners, cartazes e outros veículos de anúncio. As instalações de usinas eólicas geram impactos visuais para os habitantes de diversas localidades e turistas. Há uma tendência por parte dos fabricantes de construir torres mais altas, isso intensificará o problema cada vez mais.

No entanto, esse problema é subjetivo, pois depende da percepção sensorial do indivíduo em relação aos efeitos das turbinas eólicas. Alguns podem considerar o aerogerador como uma alternativa útil para reduzir os efeitos da geração convencional e induzir consequências positivas ao meio ambiente, já outros podem compreender as turbinas como estruturas fabricadas pelo homem que interferem na paisagem natural. É importante ainda citar que os impactos visuais são decorrentes do agrupamento de torres e aerogeradores, fundamentalmente no que diz respeito de usinas eólicas com um número satisfatório de turbinas (BARBOSA *et al.*, 2010).

#### 1.4 Impactos sobre a fauna

Durante a construção de um parque eólico, algumas atividades como escavação de fundações e construções de estradas, podem afetar o ecossistema local. Se as plantas forem removidas, o solo superficial será exposto a fortes ventos e chuvas, resultando em erosão. As águas residuais e óleo do canteiro de obras podem infiltrar-se no solo e levar a sérios problemas ambientais. As montagens de parques eólicos podem prejudicar a biogeocenose do local, provocando uma recuperação lenta e gradual do ambiente. Diante de tal concepção é necessário lembrar que o aproveitamento eólico poderá transformar a característica da área circunvizinho arruinando as atividades socioeconômicas e culturais das comunidades locais (PINTO *et al.*, 2017).

As colisões de pássaros em turbinas eólicas causam perturbação, ferimentos e até mortes em diversas espécies. Os efeitos adversos de parques eólicos nesses animais não podem ser ignorados. Vários fatores contribuem para abalroação como

design da estrutura, localização, arranjo das turbinas, variáveis climáticas e o ângulo de aproximação entre a trajetória de voo e a posição da turbina. Cabe salientar que a possível interferência nas rotas de pássaros deve ser devidamente levada em conta nos estudos e relatórios de impactos ambientais (BARBOSA *et al.*, 2010).

Há a possibilidade de aumento da taxa de mortalidade de aves nas áreas onde as turbinas estão localizadas. Dependendo do lugar onde estas torres estão fixadas, haverá impacto na reprodução, alteração de comportamento, alimentação e migração desses animais poderá ser irreparável.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração desta pesquisa buscou-se analisar os impactos ambientais das usinas eólicas. Para que o propósito do estudo fosse alcançado foi necessário analisar, interpretar, coletar dados e conhecer as representações sociais envolvidas. Sendo assim, foi feito um levantamento de dados, posteriormente uma seleção de artigos científicos, periódicos e consultas em sites governamentais referentes ao período de janeiro de 2010 a janeiro de 2020.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em regiões semiáridas, castigadas por baixas médias pluviométricas, agricultores estão se beneficiando com a chegada de usinas eólicas. Esses pequenos camponeses possuem terras na rota dos ventos, por conta disso, estão complementando sua renda com o arrendamento de parte de sua propriedade. Um ponto que cabe a ser destacado é o fato de que os aerogeradores se restringem apenas uma pequena fração da área, 10 metros de diâmetro, o dinheiro arrecadado pela locação da área pode ser investido para outras atividades econômicas (SIMAS; PACCA, 2013).

As usinas geradoras de energia eólica vêm mudando as paisagens do litoral nordestino, ambientalistas chegam a condenar a poluição visual em praias não habitadas,

onde as torres foram instaladas, mas os técnicos defendem a produção eólica como solução ideal para evitar problemas energéticos. Os efeitos visuais provenientes das torres eólicas são contrabalanceados com os impactos relacionados ao decréscimo de GEE e outros efeitos degenerativos provocados pela geração a partir de fontes energéticas convencionais (termoelétricas, nuclear, hidroelétricas) (PINTO *et al.*, 2017). Os empresários e as autoridades governamentais entendem que estão levando desenvolvimento a comunidades esquecidas e atrasadas, no entanto, desrespeitam os costumes e as tradições desses povos (ARAÚJO; MOURA, 2017).

A energia eólica é uma das fontes renováveis que possui grandes vantagens no processo de produção, sendo mundialmente utilizado, em contrapartida, há uma solidificação na conscientização pública na vantagem do mesmo. Todavia, consequências ambientais têm sido vistas em decorrência de problemas ecológicos de efeito global na área energética, mas sua agressão ao ecossistema é reduzida a níveis consideráveis, sendo então mais viável sua utilização em cenários ecologicamente energéticos. “Com o aumento da discussão a respeito do aquecimento global, houve um aumento do interesse e de investimentos satisfatórios para viabilizar o desenvolvimento e aplicação de equipamentos em escala comercial” (FLORES, 2017).

Diversas pesquisas científicas argumentam que aerogeradores poderiam intensificar a mortalidade de aves, porém este fato está relacionado principalmente com o surgimento dos primeiros parques eólicos, para os quais não se exigia uma análise de rotas migratórias de aves antes da sua instalação (PINTO *et al.*, 2017).

#### 4 CONCLUSÕES

Essa fonte energética está em ascensão no território brasileiro principalmente na região do Nordeste, contribuindo então com suprimento de energia, seguida de baixo custo de implantação e consequências ambientais. O uso dessa tecnologia é mais presente em nações desenvolvidas, mas nos últimos anos o Brasil está aumentando investimentos nesse setor. Para a implantação dos aerogeradores, é necessário fazer

diversos estudos, os dados coletados através das pesquisas ajudam a diminuir os possíveis impactos ambientais e aumenta a eficiência das torres. A utilização de imagens aéreas e dados obtidos através de satélites ajudam para uma análise mais acurada (MELLO, 2014).

A confecção de projetos frente à geração energética deve ser estudada minuciosamente, pois os mais afetados consistem nos grupos sociais e ecossistemas, desse modo, os parâmetros societários, econômicos devem trabalhar de forma unida, estabelecendo assim, ações que culminam na minimização nas consequências. A indústria dessa tecnologia tem mostrado um avanço na aplicação de novos projetos (NASCIMENTO; ALVES, 2016).

## 5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio do Programa de Mestrado Profissional de Climatologia e Aplicações nos Países da CPLP e África.

## 6 REFERÊNCIAS

ANTONIO, A.; MANZI, A. Eventos extremos de precipitação no Ceará e suas relações com a temperatura dos oceanos tropicais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 1, p. 157–165, 2011.

ARAÚJO, A. A.; MOURA, G. J. B. de. A literatura científica sobre os impactos causados pela instalação de parques eólicos: análise cienciométrica. **Revista Tecnologia e Sociedade**, v. 13, n. 28, p. 207–223, 2017.

ARTAXO, P. Uma nova era geológica em nosso planeta: o Antropoceno?. **Revista USP**, v. 103, p. 13–24, 2014.

BARBOSA, D.; LOBATO, E.; CONTILIO, V. Energia eólica: análise sobre o potencial eólico brasileiro. **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, v. 1, p. 267–278, 2010.

CAMELO, H. D. N.; CAMELO, H. D. N.; VASCONCELOS, A. E.; LUCIO, P. S.; LEAL JUNIOR, J. B. V. Potência eólica instalada no Estado do Ceará e impacto em sua matriz energética. **Conexões - Ciência e Tecnologia**, v. 11, n. 3, p. 100, 2017.



DUPONT, F. H.; GRASSI, F.; ROMITTI, L. Energias renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental Santa Maria**, v. 19, n. 2236–1170, p. 70–81, 2016.

FLORES, T. S. Um breve estudo comparativo entre as energias eólica e nuclear. **Ciência e Natura**, v. 37, p. 24-29, 2017.

GIODA, A. Comparação dos níveis de poluentes emitidos pelos diferentes combustíveis utilizados para cocção e sua influência no aquecimento global. **Química Nova**, v. 41, n. 8, p. 839–848, 2018.

HENRIQUES, F. Injustiças da sustentabilidade: Conflitos ambientais relacionados à produção de energia “limpa” no Brasil. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, v. 89, p. 36–63, 2010.

IPCC. **Global Warming of 1.5 °C**. 2018. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/sr15/>

LIRA, M. A. T.; SILVA, E. M. DA; ALVES, J. M. B. Estimativa dos recursos eólicos no litoral cearense usando a teoria da regressão linear. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 26, n. 3, p. 349–366, 2011.

MELLO, Mariana Torres Correia de. **Estudo de viabilidade técnico-ambiental para implantação de parques eólicos: um estudo de caso em um fragmento do litoral setentrional do Rio Grande do Norte/Brasil**. 2014. 170 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia, Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

NASCIMENTO, R. S. do; ALVES, G. M. Fontes alternativas e renováveis de energia no Brasil: métodos e benefícios ambientais. **Revista UNIVAP**, v. 22, n. 40, p. 274, 2016.

NASCIMENTO, R. S.; SIIVA, C. G. Parâmetros da energia eólica no Brasil e no mundo. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 20, n. 1, p. 241–247, 2016.

PINTO, L.; MARTINS, F.; PEREIRA, E. O mercado brasileiro da energia eólica, impactos sociais e ambientais. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 6, p. 1082-1100, 2017.

SIMAS, M.; PACCA, S. Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável. **Estudos Avançados**, v. 27, n. 77, p. 97–116, 2013.

## ROTAS SINTÉTICAS PARA OBTENÇÃO DO BIOQUEROSENE

Francisco D. M. Silva<sup>\*1</sup>, João B. Júnior<sup>2</sup>, Maria C. M. de Souza<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, \*e-mail: franciscodiego.eng@gmail.com.

<sup>2</sup>Mestrado em Energia e Ambiente, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

<sup>3</sup>Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira.

**RESUMO:** O gás carbônico é um dos principais gases do efeito estufa (GEE). Por isso, é preciso encontrar meios para reduzir a emissão desse gás na atmosfera. Uma alternativa, seria a substituição dos combustíveis fósseis por outros de fontes renováveis, denominados de biocombustíveis. A nova geração de biocombustíveis são os do tipo *drop-in*, que não requerem modificações nos motores dos veículos para sua aceitação. Nessa categoria de biocombustíveis está o bioquerosene (BioQAV), pois uma das condições para sua inserção na matriz energética dos transportes aéreos seria a não necessidade de alterar ou modificar os motores das aeronaves que já se encontram em operação. O setor de transporte aéreo é responsável por 2% das emissões globais de GEE, isso é equivalente a 814 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>. O bioquerosene, atualmente, pode ser misturado em até 50% ao querosene fóssil (QAV ou QAV-1). As propriedades físicas e químicas do BioQAV são equivalentes as do QAV, mas é preciso realizar estudos sobre a eficiência dos motores aeronáuticos para misturas superiores à 50% de bioquerosene. Todavia é preciso obedecer às rotas permitidas pelo ASTM.

**Palavras-chave:** Bioquerosene. Setor Aéreo. CO<sub>2</sub>.

**ABSTRACT:** Carbon dioxide is one of the main greenhouse gases (GHG). Therefore, it

is necessary to find ways to reduce the emission of this gas into the atmosphere. An alternative would be the replacement of fossil fuels with others from renewable sources, called biofuels. The new generation of biofuels are drop-in types, which do not require modifications to the vehicle's engines for acceptance. In this category of biofuels is biokerosene (BioQAV), as one of the conditions for its insertion in the energy matrix of air transport would be the need to not alter or modify the engines of aircraft that are already in operation. The air transport sector is responsible for 2% of global GHG emissions, this is equivalent to 814 million tons of CO<sub>2</sub>. Currently, biokerosene can be mixed up to 50% with fossil kerosene (QAV or QAV-1). The physical and chemical properties of BioQAV are equivalent to those of QAV, but it is necessary to carry out studies on the efficiency of aeronautical engines for mixtures above 50% of biokerosene. However, it is necessary to obey the routes allowed by the ASTM.

**Keywords:** Biokerosene. Air Sector. CO<sub>2</sub>.

## 1 INTRODUÇÃO

Países industrializados assinaram, em 11 de dezembro de 1997, um acordo internacional para limitar e reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>. Esse acordo, denominado de Protocolo de Kyoto, foi resultado de negociações na Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, 2020). Dentre os pactos adotados está de redução de 5% da emissão dos gases do efeito estufa (GEE), em relação ao ano de 1990, ano esse do qual a maioria dos países já eram industrializados (KURIYAMA *et al.*, 2018). O primeiro período de compromisso do Protocolo de Kyoto (KP-CRP1: 2008-2012) por países do Anexo B (UNFCCC, 1998).

No Anexo A, do protocolo de Kyoto, são apresentados gases, setores/categorias de fontes de energia e processos industriais que possuem maior influência na emissão de CO<sub>2</sub>. Um dos setores responsáveis pela emissão de CO<sub>2</sub>,

presente na listagem do KP (Kyoto Protocol), é o setor de transporte que realiza a combustão de combustíveis de origem fóssil (UNFCCC, 1998).

O setor de transporte aéreo é uma dos que mais cresce no mundo e é responsável direto por cerca de 2% das emissões globais de GEE (carbono antrópico), que representa 814 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> (IATA, 2020). Dentre os gases do efeito estufa, o dióxido de carbono é o principal contribuinte para as alterações climáticas do planeta (GUTIÉRREZ-ANTONIO *et al.*, 2017).

Segundo o observatório do clima (SEEG, 2019), no Brasil, em 2018, o setor energético, que inclui o setor de transporte aéreo, foi responsável por 21% das emissões, o que equivale a 408 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>, conforme dados da Tabela 1.

**Tabela 1 - Emissões de CO<sub>2</sub> pelos setores brasileiros em 2018**

	Emissões de CO <sub>2</sub> (Mt)	Porcentagem equivalente (%)
Desmatamento	845	44
Agropecuário	492	25
Setor de energia	408	21
Resíduos	97	5
Processos industriais	97	5
Total	1939	100

Fonte: Observatório do clima (2019).

Os dados acima mostram que o setor energético tem muita influência na emissão de GEE. Esse fato tem impulsionado estudos que buscam a geração de energia alternativa e o desenvolvimento de combustíveis capazes de reduzir as emissões de GEE na atmosfera. Dentre eles, em destaque, estão os biocombustíveis que são alternativas para essa redução.

## 2 BIOCOMBUSTÍVEIS E SUAS PERSPECTIVAS

Os biocombustíveis são definidos pela Lei nº 12.490, de 16 de setembro de 2011, Art. nº 6, XXIV como “substâncias derivadas de biomassa renovável, tal como biodiesel, etanol e outras substâncias estabelecidas em regulamento da ANP, que pode ser empregada diretamente ou mediante alterações em motores a combustão interna ou para outro tipo de geração de energia, podendo substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil” (BRASIL, 2011).

O Brasil, para atender o compromisso com a COP-21, instituiu em 2017 uma política nacional voltada para inserção dos biocombustíveis na matriz energética nacional e promover, conseqüentemente, a redução das emissões dos gases de estufa, especialmente o CO<sub>2</sub>. Essa política, denominada de RenovaBio, está promovendo também um grande incentivo para o desenvolvimento de pesquisas de novos biocombustíveis e de novas rotas tecnológicas voltadas para maior eficiência e menor custos de processos (BRASIL, 2017).

Os biocombustíveis, em relação aos combustíveis fósseis, possuem uma menor pegada de carbono, por serem oriundos da biomassa. Desta forma, é vantajoso a utilização dos biocombustíveis na matriz energética nacional para diminuir os GEE.

## 3 BIOQUEROSENE

Uma das metas do Brasil é a redução em 37% da emissão de CO<sub>2</sub> em 2025, em comparação ao ano de 2015, e a redução no setor de transporte aéreo é primordial para isso (VITAL, 2018). Neste setor, o combustível é o querosene de aviação (QAV) e o biocombustível alternativo é o bioquerosene.

Bioquerosene de aviação é definida pela Lei nº 12.490, de 16 de setembro de 2011, Art. Nº 6, XXXI como “substância derivada de biomassa renovável que pode ser usada em turborreatores e turbopropulsores aeronáuticos ou, conforme regulamento, em

outro tipo de aplicação que possa substituir parcial ou totalmente combustível de origem fóssil.” (BRASIL, 2011).

Entretanto, para uma mistura ser considerada bioquerosene é preciso que ela esteja dentro dos parâmetros da ASTM International, que é hoje o principal fórum para determinar qualificação e aprovação de novo biocombustíveis de aviação. As especificações, para qualificação e aprovação, são os presentes no ASTM D1655 que abrange os combustíveis Jet A, combustível de uso nos EUA, e Jet A-1, combustível usado no restante do mundo (IATA, 2015).

Um dos requisitos para o bioquerosene é que seja produzido por uma das rotas tecnológicas autorizadas pela ASTM, que são: Querosene parafínico sintético produzido por técnica de Fischer-Tropsch (FT-SPK); Querosene parafínico sintético produzido a partir do hidrocessamento de ésteres e ácidos graxos (HEFA-SPK) e Isoparafinas sintetizadas a partir de hidrocessamentos de derivados da fermentação de açúcares (SIP-HFS) (ASTM, 2013). A ICAO cita mais alguns processos que não estão presentes na ASTM, são eles: Querosene parafínico sintético produzido a partir da alquilação de aromáticos leves de origem não fóssil (SPK/A); Querosene parafínico sintético produzido a partir do álcool (ATJ-SPK); Querosene produzido a partir de hidrotérólise catalítica (CHJ) e jato de coprocessamento; ATJ-SPK (etanol) (ICAO, 2017).

Para não haver desgaste do motor da aeronave é preciso que o bioquerosene possua uma composição química e física similar ao querosene. No caso mais simples, os óleos vegetais são obtidos pelo esmagamento dos grãos e pela subsequente prensagem a frio, sendo que os materiais suspensos são separados do óleo natural pela sedimentação e posterior filtragem. Os dados obtidos de Guerra (2010) de algumas espécies estão na Tabela 2.

**Tabela 2 - Estimativa de teor de óleo de algumas espécies oleaginosas**

Espécie	Teor de óleo (%)	Espécie	Teor de óleo (%)
Amendoim	40 – 50	Girassol	35 – 52

Algodão	15 – 25	Linhaça	30 – 48
Babaçu	55 – 65	Mamona	40 – 50
Canola	40 – 50	Nabo Forrageiro	35 – 50
Cártamo	35	Soja	18 – 22
Dendê	45 – 50	Tungue	30 – 35
Gergelim	50 - 55	Pinhão-manso	38 – 45

Fonte: Guerra (2010).

Entretanto existem mais parâmetros para escolher o melhor óleo vegetal para a produção do bioquerosene de aviação. No artigo em questão vamos fixar no óleo do coco babaçu, na Tabela 3, que contém outros dados do óleo de babaçu.

**Tabela 3 - Característica físico-química do óleo bruto de babaçu**

Características Físico-química	Resultado
Índice de acidez (mg KOH.g <sup>-1</sup> )	3,75
Índice de peróxido (meq O <sub>2</sub> . Kg <sup>-1</sup> )	0,4
Teor de água (mg.kg <sup>-1</sup> )	1700
Índice de iodo (Wijs)	17,03
Índice de saponificação (mg KOH.g <sup>-1</sup> )	189,8
Viscosidade cinemática a 40 °C (mm <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup> )	29,5
Densidade a 20 °C (kg.m <sup>-3</sup> )	921,5
Densidade a 25 °C (kg.m <sup>-3</sup> )	914

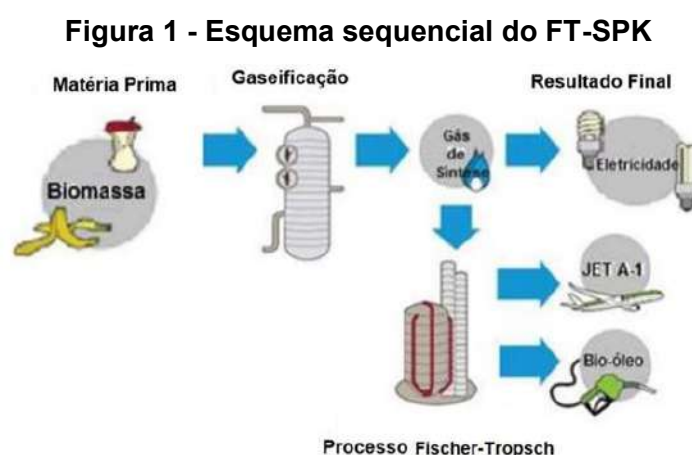
Fonte: Guerra (2010).

A literatura relata que os óleos com alto índice de acidez são usados com frequência na produção dos biocombustíveis. O óleo de babaçu possui em sua composição 98% de ácidos saturados e muito ácido graxo de cadeia carbônica entre 8 – 14 (PONTES, 2017).

## 4 PROCESSOS PARA PRODUÇÃO DE QUEROSENE PELA ASTM

### 4.1 Querosene parafínico sintetizado hidroprocessado Fischer-Tropsch (FT-SPK)

FT-SPK é realizado por um processo de conversão térmica do óleo em um gás de síntese convertido em hidrocarbonetos líquidos, diesel ou QAV, através de um reator Fischer-Tropsch (FT) (ICAO, 2017). O FT-SPK pode ser misturado ao querosene de aviação em uma proporção de 50% (IATA, 2017). Um esquema sequencial do FT-SPK é mostrado na Figura 1.



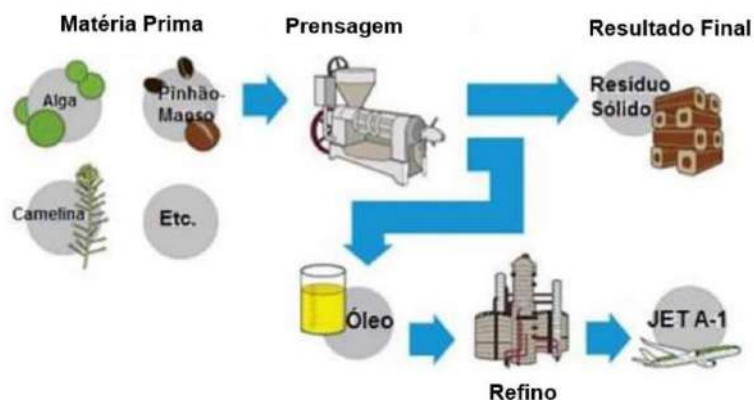
Fonte: Ponte (2017).

### 4.2 Querosene parafínico sintético produzido a partir de hidroprocessamento de ésteres e ácidos graxos (HEFA-SPK)

HEFA-SPK é produzido através da reação de um de óleo ou gordura com hidrogênio. O processo é dividido em etapas a primeira é a extração do óleo da biomassa, seguida do processo de hidrotratamento, bombeamento de  $H_2$  em altas temperaturas na presença de um catalisador, e então é realizado o refino do produto (ICAO, 2017). As etapas estão sequenciadas na Figura 2.



**Figura 2 - Esquema sequencial do HEPA-SPK**



Fonte: Ponte (2017).

#### **4.3 Isoparafinas sintéticas produzidas a partir de hidroprocessamentos de derivados da fermentação de açúcares (SIP-HFS)**

SIP-HFS são, de maneira simples, hidrocarbonetos sintéticos que são produzidos por hidroprocessamento e derivados da fermentação de açúcares, ou seja, são utilizados micróbios para converter açúcares em hidrocarbonetos. Para realizar esse processo muitos vegetais podem ser incluídos como as tradicionais cana-de-açúcar e beterraba, entre outras biomassas (ICAO, 2017).

### **5 CONCLUSÃO**

O uso dos biocombustíveis é uma alternativa para redução na emissão dos gases do efeito estufa e o transporte aéreo está se preparando para utilizá-los em sua matriz energética. No entanto, esses biocombustíveis devem possuir as propriedades físicas e químicas semelhante à dos combustíveis fósseis para garantir a completa mistura entre eles, a não necessidade de alterações ou adaptações nos motores das aeronaves e condições técnicas de fluidez a baixa temperatura. As rotas sintéticas devem

seguir as especificações da ASTM para combustíveis de aviação. O Brasil dispõe de uma vasta diversidade de biomassas apropriadas para produção do BioQAV, dentre elas destacamos o babaçu, pois não compete com a cadeia alimentar e possui um bom teor de óleo em sua composição (55 a 65%). Além disso, as demais propriedades químicas desse óleo são favoráveis para produção do bioquerosene.

## 6 AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio financeiro da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FUNCAP e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq.

## 7 REFERÊNCIAS

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM standard D1655, Standard specification for aviation turbine fuels**. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2013.

BRASIL. Lei nº 12.490, de 16 de setembro de 2011. Altera as Leis nºs 9.478, de 6 de agosto de 1997, e 9.847, de 26 de outubro de 1999, que dispõem sobre a política e a fiscalização das atividades relativas ao abastecimento nacional de combustíveis. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 19 set. 2011. Seção 1, p. 1. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2011-2014/2011/Lei/L12490.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2011/Lei/L12490.htm). Acesso em: 16 set. 2020.

BRASIL. Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 27 dez. 2017. Seção 1, p. 12. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2017/lei/L13576.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/L13576.htm). Acesso em: 16 set. 2020.

GUERRA, E. P.; FUCHS, W. Biocombustível renovável: uso de óleo vegetal em motores. **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 8, n. 1, p. 103-112, 2010.

GUTIÉRREZ-ANTONIO, C.; GÓMEZ-CASTRO, F. I.; LIRA-FLORES, J. A. de; HERNÁNDEZ, S. A review on the production processes of renewable jet fuel. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 79, p. 709-729, 2017.

IATA - INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION. **Aviation & Climate Change**. 2020. Disponível em: <https://www.iata.org/en/iata-repository/pressroom/fact-sheets/fact-sheet---climate-change/>. Acesso em: 15 set. 2020.

IATA - INTERNATIONAL AIR TRANSPORT ASSOCIATION **IATA Guidance Material for Sustainable Aviation Fuel Management**. 2. ed. Montreal: IATA, 2015. 32 p. Disponível em: <https://www.iata.org/contentassets/d13875e9ed784f75bac90f000760e998/iata20guidance20material20for20saf.pdf>. Acesso em: 16 set. 2020.

ICAO - INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Conference On Aviation And Alternative Fuels**. 2017. Disponível em: <https://www.icao.int/Meetings/CAAF2/Documents/CAAF.2.WP.007.1.en.pdf>. Acesso em: 16 set. 2020.

KURIYAMA, A.; ABE, N. Ex-post assessment of the Kyoto Protocol – quantification of CO<sub>2</sub> mitigation impact in both Annex B and non-Annex B countries. **Applied Energy**, v. 220, p. 286-295, 2018.

PONTE, Flávio Albuquerque Ferreira da. **Obtenção de bioquerosene a partir de resíduos dos óleos de babaçu e coco via catálise heterogênea**. 2017. 168 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

ANGELO, C.; RITTL, C. **Relatório anual sobre a análise das emissões brasileiras de gases do efeito estufa e suas implicações para as metas do Brasil 1970 – 2018**. São Paulo: SEEG - Observatório do Clima, 33 p. Disponível em: [https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2019/11/OC\\_SEEG\\_Relatorio\\_2019pdf.pdf](https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2019/11/OC_SEEG_Relatorio_2019pdf.pdf). Acesso em: 15 set. 2020.

UNFCCC - UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Kyoto protocol to the united nations framework convention on climate change**. 1998. Disponível em: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf>. Acesso em: 13 set. 2020.

UNFCCC - UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **What is the Kyoto Protocol**. Disponível em: [https://unfccc.int/kyoto\\_protocol](https://unfccc.int/kyoto_protocol). Acesso em: 13 set. 2020.

VITAL, M. H. F. **Aquecimento global: acordos internacionais, emissões de CO<sub>2</sub> e o surgimento dos mercados de carbono no mundo**. Rio de Janeiro: BNDES Setorial, v. 24, n. 48, p. 167-244, 2018.

## SÍNTESE DE PONTOS QUÂNTICOS DE CARBONO A PARTIR DE QUITOSANA

**Bruno P. de Oliveira<sup>\*1</sup>, Nathalia U. C. Bessa<sup>2</sup>, Joice F. do Nascimento<sup>2</sup>, Flávia O. M. S. Abreu<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Programa de Pós-graduação em Ciências Naturais, Laboratório de Química Analítica e Ambiental, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, \*e-mail: bruno.peixoto@aluno.uece.br.

<sup>2</sup>Curso de Licenciatura em Química, Laboratório de Química Analítica e Ambiental, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia.

**RESUMO:** Pontos quânticos de carbono são uma nova classe de nanomateriais fluorescentes, com propriedades como fotoluminescência, alta solubilidade, baixa toxicidade e biocompatibilidade favorável. Eles são úteis para aplicações em biomedicina, sensores, células solares e fotocatalise, entre outros. A síntese de pontos quânticos usando a quitosana como fonte de partida passa a ser foco de interesse dos pesquisadores devido ao baixo custo e disponibilidade em grande escala deste material. Outro ponto positivo da utilização da quitosana é a possibilidade da reutilização de recursos naturais com o potencial de redução de poluentes e dos seus impactos ambientais. Do ponto de vista dos métodos de síntese, destaca-se o método hidrotérmico, por ser uma metodologia simples e de baixo custo, que emprega condições moderadas de temperatura e tempo de síntese relativamente baixo. Entre as principais aplicações dos pontos quânticos a base de quitosana, as aplicações de bioimagem e biosensores são as mais relatadas na literatura.

**Palavras-chave:** Pontos quânticos de carbono. Quitosana. Nanomateriais

**ABSTRACT:** Carbon dots are a new class of fluorescent nanomaterials, with properties such as photoluminescence, high solubility, low toxicity, and favorable biocompatibility.

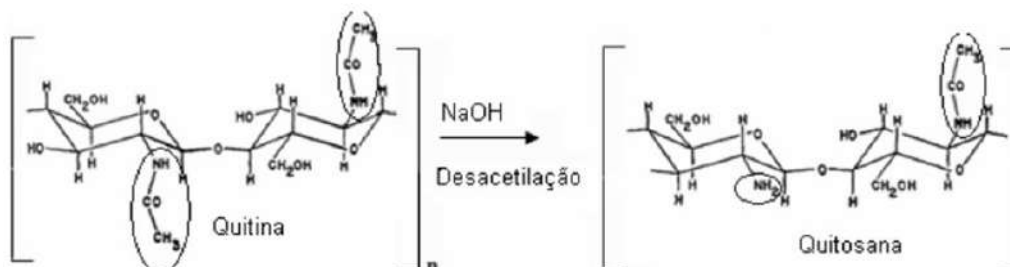
They are useful for applications in biomedicine, sensors, solar cells, and photocatalysis, among others. The synthesis of quantum dots using chitosan as a starting source becomes the focus of interest for researchers due to the low cost and large-scale availability of this material. Another positive aspect of using chitosan is the possibility of reusing natural resources with the potential to reduce pollutants and their environmental impacts. As regards the synthesis methods, the hydrothermal method stands out, as it is a simple and low-cost methodology, which uses moderate temperature conditions and relatively low synthesis time. Among the main applications of chitosan-based quantum dots, applications of bioimaging and biosensors are the most reported in the literature.

**Keywords:** Carbon Quantum Dots. Chitosan. Nanomaterials.

## 1 INTRODUÇÃO

A quitosana é um biopolímero de origem animal de baixo custo, renovável e biodegradável de grande importância econômica e ambiental. Possui estrutura química similar a fibra vegetal celulose e do biopolímero quitina, diferindo destes pelos seus grupos funcionais. Os grupos hidroxila (OH) estão dispostos na estrutura geral do carboidrato para a celulose e grupos amino (NH<sub>2</sub>) para a quitosana (Figura 1). É solúvel em meio ácido diluído, formando um polímero catiônico, com a protonação do grupo amino (NH<sub>3</sub><sup>+</sup>), que confere propriedades especiais diferenciadas em relação às fibras vegetais (DUTTA; DUTA; TRIPATHI, 2004).

**Figura 1 – Processo de desacetilação da quitina e obtenção da quitosana**



Fonte: Abreu (2008).

A principal fonte de ocorrência da quitosana é a carapaça de crustáceos que normalmente é descartada pela indústria se tornando um resíduo potencialmente poluente, portanto, a utilização da quitosana reduz o impacto ambiental causado pelo acúmulo e estocagem nos locais onde ela é produzida (AZEVEDO *et al.*, 2007). Devido a sua constituição contendo uma elevada quantidade de grupos funcionais amino ( $-NH_2$ ) e hidroxila ( $-OH$ ), uma nova possibilidade de aplicação da quitosana é como material de partida na síntese de pontos quânticos de carbono (JANUS *et al.*, 2019; KANDRA; BAJPAI, 2020). Os materiais sintetizados a partir da quitosana apresentam propriedades de biocompatibilidade e não toxicidade (MAJETI; KUMAR, 2000; RINAUDO, 2006).

Os pontos quânticos de carbono (PQCs) são nanopartículas, com tamanhos que chegam até 10 nanômetros, que consistem basicamente de núcleos de carbono  $sp^2/sp^3$  e grupos contendo oxigênio e nitrogênio ou agregações poliméricas em sua estrutura (LIU; YE; MAO, 2007). A composição química dos PQCs depende do precursor de carbono utilizado, bem como das condições de preparação (KWON; DO; RHEE, 2012).

Os pontos quânticos de carbono (PQCs) ou carbon quantum dots (C-dots) foram descobertos acidentalmente em 2004, no processo de eletroforese de nanotubos de carbono de parede simples (XU *et al.*, 2004). Os PQCs têm chamado bastante à atenção devido a fácil obtenção e propriedades fascinantes (MIRTCHEV *et al.*, 2012).

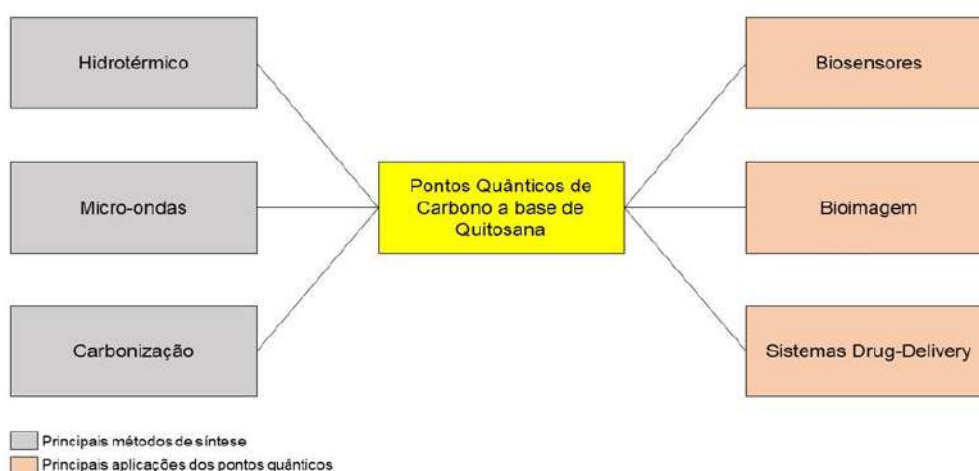
Esta nova classe de materiais de carbono vem ganhando atenção dos pesquisadores pela extensão das aplicações tecnológicas a partir desse material, por

exemplo: sensores, fotocatalise, bioimagem, sistemas de liberação controlada de f armacos, células solares, e diodos emissores de luz (LEDs) (GONG *et al.*, 2019; LI *et al.*, 2018).

## 2 PONTOS QUÂNTICOS A BASE DE QUITOSANA: ESTADO DA ARTE

A quitosana se apresenta como uma importante fonte precursora na síntese de pontos quânticos de carbono. Este nanomaterial pode ser obtido por diversas rotas sintéticas e sua gama de aplica es tornam esta classe de materiais fluorescentes de carbono cada vez mais importante (Figura 2).

**Figura 2 – Principais vias de sínteses e aplica es dos pontos quânticos de carbono a base de quitosana**



Fonte: Elaborado pelos autores.

Entre as vantagens da utiliza o deste tipo de nanomaterial apresentam-se a fotoestabilidade, biocompatibilidade favorável, baixa toxicidade, solubilidade, alta sensibilidade e excelente seletividade para direcionar analitos. Para além das vantagens

acima mencionadas, a utilização de fontes naturais como matéria prima permite condições de síntese mais brandas, por vezes dispensando etapas posteriores de separação e purificação.

## 2.1 Métodos de Síntese dos Pontos Quânticos

Quanto à obtenção dos pontos quânticos de carbono, diversos métodos sintéticos podem ser empregados. O desenvolvimento de métodos de síntese mais adequados é uma importante etapa para potencializar as aplicações. Dentre estes incluem a destruição do grafite ou de materiais de carbono em partículas de grafite de tamanho nanométrico por meio de métodos físicos ou químicos. Estes métodos podem envolver técnicas como descarga de arco elétrico, ablação por laser, oxidação eletroquímica, oxidação química e processos assistidos por micro-ondas (ZHANG *et al.*, 2018).

Os métodos de síntese podem ser subdivididos em dois grupos, top-down e bottom-up, que diferem na estratégia de síntese e também nos precursores utilizados. Nos métodos top-down, os PQC's são preparados a partir de precursores de carbono maiores, tais como diamante, grafite, nanotubos de carbono e óxido de grafite. Já nas abordagens bottom-up os PQC's são sintetizados a partir de precursores moleculares, como ácido cítrico, glicose e resina, que podem adicionalmente, ser purificados por meio de centrifugação, diálise, eletroforese, ou outra técnica de separação (MACHADO *et al.*, 2015).

Os métodos bottom-up destacam-se quanto a eficiência na síntese de partículas considerando os quesitos: qualidade, pureza, custo-benefício e gerenciamento de tempo. Especificamente, os métodos bottom-up permitem PQC's com controle morfológico e melhor distribuição de tamanho das partículas obtidas (ZHANG *et al.*, 2018). Por outro lado, os métodos top-down são mais largamente utilizados para a produção das PQC's a partir de produtos naturais (Tabela 1). Dentre os métodos top-



down destacam-se a carbonização hidrotérmica, a extração, a oxidação química, e o tratamento por micro-ondas (ZHANG *et al.*, 2018).

**Tabela 1 – Principais métodos de síntese dos pontos quânticos de carbono a base de quitosana**

MÉTODO DE SÍNTESE	REFERÊNCIAS
Hidrotérmico	Moradi <i>et al.</i> (2018) Briscoe <i>et al.</i> (2015) Gomes <i>et al.</i> (2019) Lin <i>et al.</i> (2020) Zhan <i>et al.</i> (2019)
Micro-ondas	Sarkar, Bohidar e Solanki (2018) Chowdhury, Gogoi e Majumdar (2012) Kandra e Bajpai (2020)
Carbonização	Huang <i>et al.</i> (2014) Chowdhuri <i>et al.</i> (2016) Kumar <i>et al.</i> (2018)

Fonte: Elaborado pelos autores.

O método hidrotérmico destaca-se por ser um método de baixo custo, amigável ao meio ambiente, entretanto, a geração de resíduos é um ponto negativo desta rota de síntese. Neste processo, o precursor é colocado em um reator de Teflon® inserido em um copo de aço inoxidável e submetido ao aquecimento. De forma contrária, no método de carbonização a reação é conduzida de forma direta pelo aquecimento do material de partida em forno mufla, dispensando aparatos específicos para a reação.

O método de micro-ondas é considerado um método rápido, em acordo com a Química verde, e apresenta como vantagens a diminuição do tempo de reação e uma dispersão de partículas com tamanho mais uniforme obtido pelo aquecimento transiente.

## 2.2 Propriedades e aplicações dos Pontos Quânticos

Os pontos quânticos de carbono são conhecidos por suas propriedades físico-químicas, a saber: luminescente, baixa citotoxicidade, inércia química, baixa fotodegradação e excelente biocompatibilidade (MACHADO *et al.*, 2015). Eles apresentam também propriedades ópticas: transferência eletrônica fotoinduzida, eletroquimioluminescência (EQL), e rendimento quântico – características que tornam um nanomaterial cada vez mais interessante para aplicações tecnológicas.

Devido ao nitrogênio presente na constituição da quitosana, os pontos quânticos de carbono sintetizados apresentam suas características fotoluminescentes aumentadas quando comparados a outros tipos de pontos quânticos de carbono (MORADI *et al.*, 2018). Além disso, a modificação do ponto quântico de quitosana pode efetivamente melhorar a biocompatibilidade e prover suporte extra para as aplicações na área de biomedicina (LIN *et al.*, 2020).

As propriedades de luminescência dos CQDs estão associadas com a energia do bandgap que depende da composição dos semicondutores, bem como do tamanho dos pontos quânticos (GOMES *et al.*, 2019), tornando este material promissor para aplicações como células solares.

Os pontos quânticos de carbono de quitosana têm sido usados para aplicações diversas em biomedicina (Tabela 2), suas aplicações nesse campo se devem às rotas sintéticas de baixo custo e menos exaustivas, estabilidade coloidal a longo prazo, abundância elementar e baixa toxicidade ambiental e biológica (BAKER; BAKER, 2010; MIRTICHEV *et al.*, 2012).

**Tabela 2 – Principais aplicações dos pontos quânticos de carbono a base de quitosana**

<b>APLICAÇÕES</b>	<b>REFERÊNCIAS</b>
Biosensores	Sarkar, Bohidar e Solanki (2018) Huang <i>et al.</i> (2014) Guo <i>et al.</i> (2017) Chowdhury, Gogoi e Majumdar (2012)
Bioimagem	Moradi <i>et al.</i> (2018) Li <i>et al.</i> (2014) Liang <i>et al.</i> (2016)
Detecção de Íons	Zhan <i>et al.</i> (2019) Kumar <i>et al.</i> (2016)
Células Solares	Gomes <i>et al.</i> (2019) Briscoe <i>et al.</i> (2015)
Sistemas Drug-Delivery	Lin <i>et al.</i> (2020) Kandra e Bajpai (2020) Chowdhuri <i>et al.</i> (2016)

Dentre as aplicações listadas na tabela acima destacam-se pelas propostas inovadoras: Rotulagem de células e imagem in vivo, onde é relatado um novo método que utiliza a quitosana, como conector para sintetizar nanocompósitos fluorescentes de pontos quânticos de quitosana (LI *et al.*, 2014).

Para entrega de medicamento anticâncer, o estudo relata uma abordagem que combina estruturas orgânicas em nanoescala, síntese e encapsulação da molécula alvo (ácido fólico) em superfície de nanopartículas magnéticas modificadas com quitosana em

um único passo sendo útil para administrar medicamentos anticâncer (CHOWDHURI *et al.*, 2016).

### 3 CONCLUSÕES

Os pontos quânticos de carbono sintetizados a partir da quitosana ganham atenção dos pesquisadores por sua variedade de aplicações. A quitosana, por se tratar de um biopolímero biocompatível, aumenta as propriedades de biocompatibilidade dos pontos quânticos de carbono, o que torna esse material apto para aplicações biomédicas, como bioimagem e biosensor. Além disso, por conta da constituição da quitosana, os pontos quânticos de carbono apresentam propriedades de luminescência melhoradas.

O método de síntese hidrotérmico destaca-se na literatura como o mais aplicado para síntese por ser uma metodologia relativamente simples e de baixo custo, que emprega condições sintéticas mais brandas. Contudo, os métodos assistidos por micro-ondas também se apresentam como uma metodologia útil para rápida obtenção de nanomateriais.

### 4 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Estadual do Ceará (UECE), a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas ofertadas aos alunos de iniciação científica e doutorado.

### 5 REFERÊNCIAS

ABREU, Flávia Oliveira Monteiro da Silva. **Síntese e caracterização de hidrogéis biodegradáveis à base de quitosana com morfologia controlada com potencial aplicação como carreadores de fármacos**. 2008. 161 f. Tese (Doutorado em Engenharia Minas, Metalúrgica e de Materiais) - Escola de Engenharia, Programa de

Pós-graduação em Engenharia Minas, Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

AZEVEDO, V. V. C.; CHAVES, S. A.; BEZERRA, D. C.; LIA FOOK, M. V.; COSTA, A. C. F. M. Quitina e Quitosana: aplicações como biomateriais. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 2.3, p. 27–34, 2007.

BAKER, S. N.; BAKER, G. A. Luminescent carbon nanodots: Emergent nanolights. **Angewandte Chemie - International Edition**, v. 49, n. 38, p. 6726–6744, 2010.

BRISCOE, J.; MARINOVIC, A.; SEVILLA, M.; DUNN, S.; TITIRICI, M. Biomass-derived carbon quantum dot sensitizers for solid-state nanostructured solar cells. **Angewandte Chemie - International Edition**, v. 54, n. 15, p. 4463–4468, 2015.

CHOWDHURI, A. R.; SINGH, T.; GHOSH, S. K.; SAHU, S. K. Carbon dots embedded magnetic nanoparticles @chitosan @metal organic framework as a nanoprobe for ph sensitive targeted anticancer drug delivery. **ACS Applied Materials and Interfaces**, v. 8, n. 26, p. 16573–16583, 2016.

CHOWDHURY, D.; GOGOI, N.; MAJUMDAR, G. Fluorescent carbon dots obtained from chitosan gel. **RSC Advances**, v. 2, n. 32, p. 12156–12159, 2012.

DUTTA, P. K.; DUTA, J.; TRIPATHI, V. S. Chitin and Chitosan: Chemistry, properties and applications. **Journal of Scientific and Industrial Research**, v. 63, n. 1, p. 20–31, 2004.

GOMES, M. F.; GOMES, Y. F.; LOPES-MORIYAMA, A.; DE BARROS NETO, E. L.; DE SOUZA, C. P. Design of carbon quantum dots via hydrothermal carbonization synthesis from renewable precursors. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 9, n. 4, p. 689–694, 2019.

GONG, P.; SUN, L.; WANG, F.; LIU, X.; YAN, Z.; WANG, M.; ZHANG, L.; TIAN, Z.; LIU, Z.; YOU, J. Highly fluorescent N-doped carbon dots with two-photon emission for ultrasensitive detection of tumor marker and visual monitor anticancer drug loading and delivery. **Chemical Engineering Journal**, v. 356, p. 994–1002, 2019.

GUO, W.; PI, F.; ZHANG, H.; SUN, J.; ZHANG, Y.; SUN, X. A novel molecularly imprinted electrochemical sensor modified with carbon dots, chitosan, gold nanoparticles for the determination of patulin. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 98, p. 299–304, 2017.

HUANG, Q.; ZHANG, H.; HU, S.; LI, F.; WENG, W.; CHEN, J.; WANG, Q.; HE, Y.; ZHANG W.; BAO, X. A sensitive and reliable dopamine biosensor was developed based on the Au@carbon dots-chitosan composite film. **Biosensors and Bioelectronics**, v. 52, p. 277–280, 2014.

JANUS, Ł.; PIATKOWSKI, M.; RADWAN-PRAGŁOWSKA, J.; BOGDAŁ, D.; MATYSEK, D. Chitosan-based carbon quantum dots for biomedical applications: Synthesis and characterization. **Nanomaterials**, v. 9, n. 2, p. 1–13, 2019.

KANDRA, R.; BAJPAI, S. Synthesis, mechanical properties of fluorescent carbon dots

loaded nanocomposites chitosan film for wound healing and drug delivery. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 13, n. 4, p. 4882-4894, 2020.

KUMAR, A.; CHOWDHURI, A. R.; LAHA, D.; CHANDRA, S.; KARMAKAR, P.; SAHU, SK. One-pot synthesis of carbon dot-entrenched chitosan-modified magnetic nanoparticles for fluorescence-based  $\text{Cu}^{2+}$  ion sensing and cell imaging. **RSC Advances**, v. 6, n. 64, p. 58979–58987, 2016.

KUMAR, S.; AZIZ, S. K. T.; GIRSHEVITZ, O.; NESSIM, G. D. One-step synthesis of N-doped graphene quantum dots from chitosan as a sole precursor using chemical vapor deposition. **Journal of Physical Chemistry C**, v. 122, n. 4, p. 2343–2349, 2018.

KWON, W.; DO, S.; RHEE, S. W. Formation of highly luminescent nearly monodisperse carbon quantum dots via emulsion-templated carbonization of carbohydrates. **RSC Advances**, v. 2, n. 30, p. 11223–11226, 2012.

LI, J.; HE, Z.; GUO, C.; WANG, L.; XU, S. Synthesis of carbon nanohorns/chitosan/quantum dots nanocomposite and its applications in cells labeling and in vivo imaging. **Journal of Luminescence**, v. 145, p. 74–80, 2014.

LI, L.; ZHENG, X.; HUANG, Y.; ZHANG, L.; CUI, K.; ZHANG, Y.; YU, J. Addressable  $\text{TiO}_2$  nanotubes functionalized paper-based cyto-sensor with photocontrollable switch for highly-efficient evaluating surface protein expressions of cancer cells. **Analytical Chemistry**, v. 90, n. 23, p. 13882–13890, 2018.

LIANG, Z.; KANG, M.; PAYNE, G. F.; WANG, X.; SUN, R. Probing energy and electron transfer mechanisms in fluorescence quenching of biomass carbon quantum dots. **ACS Applied Materials and Interfaces**, v. 8, n. 27, p. 17478–17488, 2016.

LIN, C.; SUN, K.; ZHANG, C.; TAN, T.; XU, M.; LIU, Y.; XU, C.; WANG, Y.; LI, L.; WHITTAKER, A. Carbon dots embedded metal organic framework @ chitosan core-shell nanoparticles for vitro dual mode imaging and pH-responsive drug delivery. **Microporous and Mesoporous Materials**, v. 293, p. 109775, 2020.

LIU, H.; YE, T.; MAO, C. Fluorescent Carbon Nanoparticles Derived from Candle Soot. **Angewandte Chemie - International Edition**, v. 46, n. 34, p. 6473–6475, 2007.

MACHADO, C. E.; VIEIRA, K. O.; FERRARI, J. L.; SCHIAVON, M. A. Pontos quânticos de carbono: Síntese Química, Propriedades e Aplicações. **Revista Virtual de Química**, v. 7, n. 4, p. 1306–1346, 2015.

MAJETI, N. V.; KUMAR, R. A review of chitin and chitosan applications. **Reactive & Funcional Polymers**, v. 45, p. 1–27, 2000.

MORADI, S.; SADRJAVADI, K.; FARHADIAN, N.; HOSSEINZADEH, L.; SHAHLAEI, M. Easy synthesis, characterization and cell cytotoxicity of green nano carbon dots using hydrothermal carbonization of Gum Tragacanth and chitosan bio-polymers for bioimaging. **Journal of Molecular Liquids**, v. 259, p. 284–290, 2018.

MIRTCHEV, P.; HENDERSON, E. J.; SOHEILNIA, N.; YIP, C. M.; OZIN, G. A. Solution phase synthesis of carbon quantum dots as sensitizers for nanocrystalline TiO<sub>2</sub> solar cells. **Journal of Materials Chemistry**, v. 22, n. 4, p. 1265–1269, 2012.

RINAUDO, M. Chitin and chitosan: properties and applications. **Progress in Polymer Science (Oxford)**, v. 31, n. 7, p. 603–632, 2006.

SARKAR, T.; BOHIDAR, H. B.; SOLANKI, P. R. Carbon dots-modified chitosan based electrochemical biosensing platform for detection of vitamin D. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 109, p. 687–697, 2018.

XU, X.; RAY, R.; GU, Y.; PLOEHN, H. J.; GEARHEART, L.; RAKER, K.; SCRIVENS, W. A. Electrophoretic analysis and purification of fluorescent single-walled carbon nanotube fragments. **Journal of the American Chemical Society**, v. 126, n. 40, p. 12736–12737, 2004.

ZHAN, J.; PENG, R.; WEI, S.; CHEN, J.; PENG, X.; XIAO, B. Ethanol-precipitation-assisted highly efficient synthesis of nitrogen-doped carbon quantum dots from chitosan. **ACS Omega**, v. 4, n. 27, p. 22574–22580, 2019.

ZHANG, X.; JIANG, M.; NIU, N.; CHEN, Z.; LI, S.; LIU, S.; LI, J. Natural-product-derived carbon dots: from natural products to functional materials. **ChemSusChem**, v. 11, n. 1, p. 11–24, 2018.

## SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NA GESTÃO ENERGÉTICA: PESQUISA QUALITATIVA NO SETOR DE ENERGIA LIMPA CEARENSE

Ricardo C. de O. Borges<sup>\*1</sup>, José H. M. de Araújo<sup>2</sup>, Thiago B. O. de Araújo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFCE-Aracati), Faculdade Terra Nordeste (FATENE-Caucaia), \*e-mail: ricardo.borges@fatene.edu.br.

<sup>2</sup>Faculdade do Maciço de Baturité.

<sup>3</sup>Banco do Nordeste do Brasil.

**RESUMO:** O objetivo principal deste trabalho é apresentar os programas de gestão ambiental e sustentabilidade que as empresas ENER-BRASIL, IDER e KWARA promovem no estado do Ceará. Para atingir o objetivo principal deste trabalho foram realizadas pesquisas de caráter exploratória, explicativa, descritiva e de campo. Além disto, há também a análise bibliográfica e documental com tratamento de dados coletados e da análise de conteúdo obtido com os instrumentos de pesquisa como o formulário de entrevistas. O estudo resultou em uma visão mais completa e clara sobre a gestão ambiental, sustentabilidade e gestão energética no estado do Ceará, mostrando que é possível viver juntamente com a natureza em equilíbrio, sem agredi-la e destruí-la. Estas organizações se destacam por estarem realizando projetos na área ambiental e tornam-se modelo de referência para outras organizações que buscam realizar suas atividades socioambientais, cursos, palestras, treinamentos, apoio e incentivo ao desenvolvimento de medidas sustentáveis que reduzam e minimizem todos os impactos causados por ações antrópicas.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade. Gestão Ambiental. Gestão Energética.

**ABSTRACT:** The main objective of this paper is to present the programs of environmental management and sustainability that companies ENER-BRAZIL, IDER and KWARA and



promote the state of Ceará. To achieve the main goal of this work were carried out researches aimed exploratory, explanatory, descriptive and field. Moreover, there is also a bibliographical and documental analysis with treatment of collected data and content analysis obtained with survey instruments as the form of interviews. The study resulted in a more complete and clear information about environmental management, sustainability and energy management in the state of Ceará, showing that it is possible to live together with nature in balance, without damaging it and destroying it. These organizations stand out because they are conducting environmental projects and become a reference model for other organizations seeking to realize their social and environmental activities, courses, lectures, training, support and encourage the development of sustainable measures to reduce and minimize all impacts by human actions.

**Keywords:** Sustainability. Environmental Management. Energy Management.

## 1 INTRODUÇÃO

Uma forma de preservar o meio ambiente de maneira sustentável é reduzir os gastos de energia elétrica. Utilizar energia elétrica sem ter um controle adequado resulta em mais poluição do meio ambiente com gases provenientes de combustíveis fósseis, destruição, queimadas, contaminação entre outros fatores; e através de novas tecnologias como a utilização de lâmpadas com diodo emissor de luz ou *light emitting diode* (LED), utilização de placas solares para gerar energia ou calor para locais que necessitam de aquecedores entre outras, é possível reduzir os impactos causados pela interferência humana no meio ambiente e ainda produzir bens e serviços que satisfaçam suas necessidades.

O Estado do Ceará inicia um novo tempo de desenvolvimento e iniciativas. Em 22 de outubro de 2009, foi publicada uma matéria no sítio eletrônico da Fundação Brasil Cidadão que destaca o Estado do Ceará com quatro projetos entre as 24 melhores experiências selecionadas pela Fundação Banco do Brasil (FBB) de um total de 665

projetos inscritos no concurso em 2009 em medidas sustentáveis. Estas iniciativas e abordagem dos projetos cearenses estão relacionadas à preservação do meio ambiente e desenvolvimento sustentável.

Segundo a publicação do Sistema Federação das Indústrias do Estado do Ceará (FIEC), a matriz energética da região cearense está sendo incrementada e fortalecida por fontes energéticas renováveis como eólica, solar, das marés e biodiesel. Portanto, faz-se necessário abordar nesta monografia o uso de energias renováveis e sua gestão, como ponto forte para a disseminação do conhecimento da evolução energética no Estado e atrelada a isto, vem o crescimento econômico que tais investimentos proporcionam, observando ainda as estruturas de desenvolvimento sustentável.

Partindo dos argumentos apresentados anteriormente, busca-se investigar a gestão ambiental e a sustentabilidade no setor de energias renováveis no Estado do Ceará para responder o seguinte problema: Quais são os programas de gestão ambiental e de sustentabilidade que as empresas cearenses do setor trabalham no mercado de energias renováveis? Neste sentido, por meio de uma investigação com abordagem qualitativa, objetiva-se identificar programas de gestão ambiental e sustentável em três empresas que atuam no cenário de energias renováveis no Estado do Ceará.

## **2 SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL E GESTÃO ENERGÉTICA**

Os termos gestão ambiental e sustentabilidade não são temas recentes. A relação do homem com a natureza data de sua criação. Ele necessitava e necessita da natureza para a sua sobrevivência, não obstante algumas ações vêm causando prejuízo ao ambiente. O exemplo disto é a presença de desmatamento em serras e florestas, queimadas no serrado, poluição sonora e atmosférica nas cidades, sem mencionar os impactos diretos e indiretos aos animais em seus diversos biomas.

Além disto, o superaquecimento global e o aumento da produção de lixo e resíduos são os resultados dos mais de sete milhões de habitantes no mundo, segundo Heller (2004 *apud* BORGES; PINHEIRO; SILVA (2012)).

O mundo conta atualmente com mais de sete bilhões de habitantes. Fatores básicos como comida, transporte, moradia, saúde, trabalho, enquanto necessidades; e tecnologia, por exemplo, que já fazem parte das ações público e privadas, serão ainda mais exigidos pelas pessoas mesmo sabendo que se não atende a todas as demandas hodiernas. A mutação social, percebida ao longo da história, configura-se e se reconfigura em novas formas de organização e valores criados, conservados e destruídos em um processo vivido para a sustentação da existência humana.

Este crescimento gera desafios à gestão ambiental e a sustentabilidade do planeta, dificultando a relação do homem com a natureza, pois este necessitará gerenciar novos modelos de preservar o meio ambiente durante o desenvolvimento e crescimento tanto da população quanto das tecnologias notadamente no setor de energia.

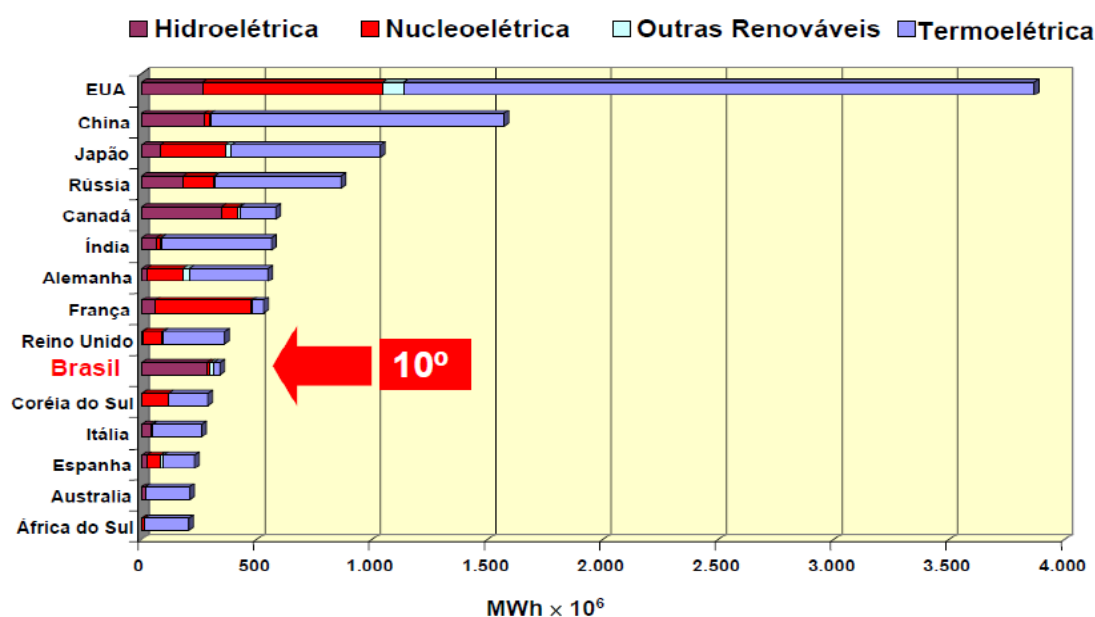
A atual matriz energética mundial está baseada no consumo de energias não renováveis, o que vem acarretando vários impactos negativos ao meio ambiente. Segundo Nascimento (2011), fontes energéticas são matérias capazes de gerar energia por meio da transformação como a combustão de materiais, fissão ou quebra de núcleos atômicos, eólica, decomposição orgânica ou biomassa, raios solares, movimento das ondas entre outros.

Os tipos de energias podem ser divididos em dois grandes grupos que ficaram popularmente conhecidos como fontes energéticas renováveis (permanentes) e não renováveis (temporários). As fontes energéticas não renováveis são fontes energéticas que possuem reservas limitadas, visto que o tempo para recuperação ou renovação desta reserva é de longo prazo, cerca de milhares de anos, comparando com o seu consumo (carvão mineral, petróleo, urânio, gás natural entre outros). Já as fontes energéticas renováveis, são fontes energéticas que possuem capacidade de regeneração em curto

prazo, ou ainda que não se esgote como energia proveniente dos ventos, dos mares, do sol, entre outras, segundo Carvalho (2003).

O uso de energias renováveis foi motivado pela necessidade de gerar energia sem emitir poluentes que prejudicassem o meio ambiente, propósito contrário à produção energética por meio de combustíveis fósseis (carvão mineral, gás natural, petróleo entre outros). Vários países no mundo, a exemplo de Alemanha, Canadá e Dinamarca estão investindo neste novo segmento energético realizando projetos que tiram proveito das energias limpas (solar, eólica, biomassa, biodiesel, hidrogênio, marés, entre outras) com o intuito de substituir as decadentes fontes não renováveis, favorecendo a redução dos efeitos causados pela utilização de tais recursos.

**Quadro 1 - Os 15 maiores geradores de energia elétrica**



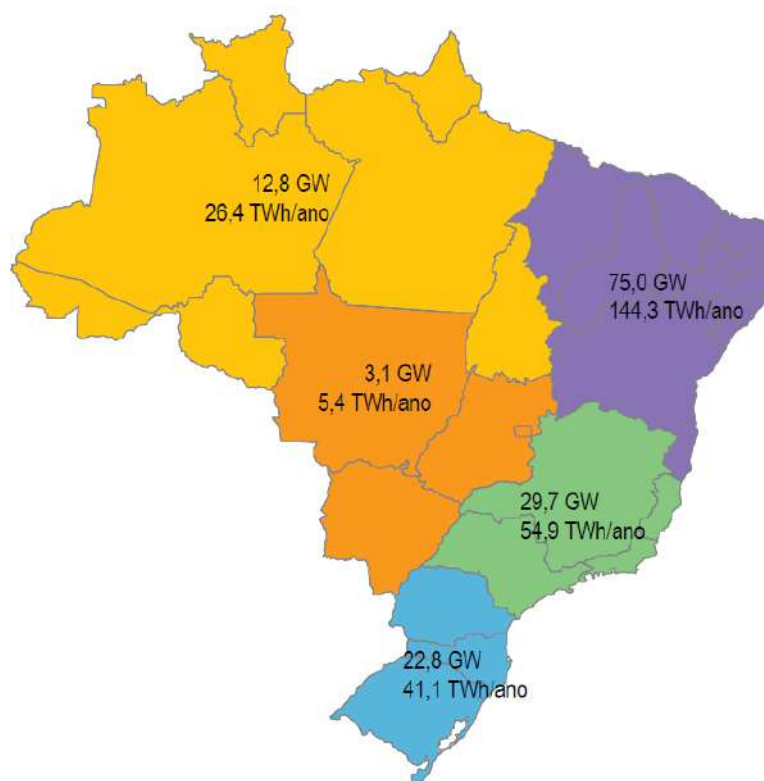
Fonte: Porto (2007).

O Quadro 1 apresenta uma relação decrescentes dos quinze maiores produtores de energia elétrica no mundo e suas fontes geradoras hidroelétrica, nuclear, termoelétrica entre outras renováveis, mostrando que o Brasil se encontra na décima

posição neste *ranking*. Potências mundiais como Estados Unidos e China ocupam as primeiras posições tendo como fonte principal a energia termoelétrica.

De acordo com o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica da Eletrobrás (CEPEL) o potencial brasileiro supera o Alemão, porém, produz 350 vezes menos. Segundo a CEPEL, o Brasil possui capacidade de produção de 143.500 MW nos territórios brasileiros, sendo sua maior parcela na região nordeste, onde sua produção seria de dez vezes a capacidade de geração da usina de Itaipú.

**Figura 1 - Potencial Energético Brasileiro por Regiões**



Fonte: EPE, 2007.

Diante do potencial energético brasileiro, destaca-se a região Nordeste com a produção de 75 GW de energia, assim como mostrado na Figura 1. Dentro desta região cabe destacar-se o Estado do Ceará, que é o foco desta investigação como um dos

maiores produtores de energia eólica do Nordeste. A energia eólica cearense é muito bem conceituada nacionalmente assim como reconhecida por seu grande potencial energético. Segundo o atlas eólico do Estado, seu potencial está mensurado em 35 mil megawatts (MW), sendo que, deste total, 25 mil megawatts em terra (*on shore*) e 10 mil megawatts no mar (*off shore*). O Quadro 2 demonstra parte de sua capacidade mediante dados de 2010.

**Quadro 2 - Usinas Eólicas em Operação no Ceará**

USINAS	POTÊNCIA (MW)	MUNICÍPIOS
Eólica de Prainha	10	Aquiraz
Eólica de Taíba	5	São Gonçalo do Amarante
Parque eólico de Beberibe	25,6	Beberibe
Mucuripe	2,4	Fortaleza
Praia do Morgado	28,8	Acaraú
Volta do Rio	42	Acaraú
Foz do Rio choro	25,2	Beberibe
Praia Formosa	104,4	Camocim
Eólica Canoa Quebrada	10,5	Aracati
Lagoa do Mato	3,2	Aracati
Eólica Icaraizinho	54,6	Amontada
Eólica Paracuru	23,4	Paracuru
Eólica Praia de Parajuru	28,8	Beberibe
Parque Eólico Enacel	31,5	Aracati
Canoa Quebrada	57	Aracati
Taíba Albatroz	16,5	São Gonçalo do Amarante
Bons Ventos	50	Aracati
Total de Usinas: 17	518,9 MW	

Fonte: Aneel, Big (2010).

A principal tarefa da gestão ambiental no Ceará é buscar minimizar os impactos das atividades antropogênicas, coordenando e ordenando-as para que não prejudiquem o meio ambiente. É, além disto, administrar as atividades econômicas e sociais utilizando de forma racional os recursos naturais disponíveis, as fontes de energias sejam elas renováveis e não renováveis. Estas medidas buscam dar ênfase a algumas práticas de preservação da biodiversidade da região, a reciclagem e a redução dos impactos ambientais.

Na busca pela autossuficiência e pela consolidação energética, visto que a energia é fator primordial para o desenvolvimento e crescimento de qualquer empreendimento, o Governo do Estado do Ceará vem concedendo incentivos a investidores no Estado e nas realizações de investimentos em infraestrutura a empreendimentos com foco na cadeia produtiva energética. Através da ADECE, é estabelecido um meio favorável para a ambiência do segmento energético no Ceará, de onde serão atendidos os novos investidores do setor, criando, com isso, parcerias com instituições internacionais para a capacitação da mão de obra e marco regulatório do setor elétrico brasileiro para energias renováveis.

Segundo a publicação realizada no Jornal O Povo, caderno Raios-X, em dezembro de 2012a, com o título de “Energias dos Ventos”, o Estado do Ceará é o maior produtor de energia limpa do país. Até 2016 a capacidade produtiva de energia eólica triplicará e chegará a 1,8 gigawatts (GW), com um total de 69 parques eólicos, o volume de investimentos deve alcançar R\$ 6 bilhões.

Ainda segundo Jornal O Povo (2012), a publicação realizada pela Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEOLICA), mostra que atualmente o Estado conta com uma capacidade produtiva instalada de 518 megawatts (MW), com 17 parques eólicos instalados em praticamente todos os municípios litorâneos do Estado. Dentro deste número se destacam como municípios que possuem uma grande capacidade produtiva Aracati, Acaraú, Camocim e Beberibe possuindo ao todo onze parques eólicos.

O Estado do Ceará é pioneiro na geração de energia eólica, segundo Elbia Melo (2012), presidente da ABEÉOLICA. Conforme Jornal O Povo (2012), a implantação

deste primeiro parque eólico cearense ocorreu em 1992, na Prainha, em Aquiraz, Região Metropolitana de Fortaleza (R.M.F), o que a favoreceu como protagonista deste pioneirismo, e pela qualidade de seu vento. Além disto, algumas outras características regionais favorecem esta escolha como proximidade dos portos e a sinalização de Políticas do Estado.

Com estes investimentos na expansão de parques eólicos haverá um barateamento no custo da energia elétrica. Ainda segundo Adão Linhares, espera-se que a energia eólica torne-se a principal fonte complementar às usinas hidrelétricas. Soma-se a isto a pesquisa realizada pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) aonde até 2021 a produção energética proveniente dos ventos chegue à 16 gigawatts. O custo pela produção de um megawatt hora é de R\$ 133,18 (cento e trinta e três reais e dezoito centavos), considerado como um dos mais baratos do país.

Conforme matéria publicada no jornal Diário do Nordeste (2013), entre os empreendimentos em construção, estão em vista a elaboração de mais 12 fontes eólicas com capacidade de geração de 311,2 MW de energia elétrica. Vale ressaltar que a única usina térmica em construção, a Pécem II, situada no Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP) gerará 360 MW.

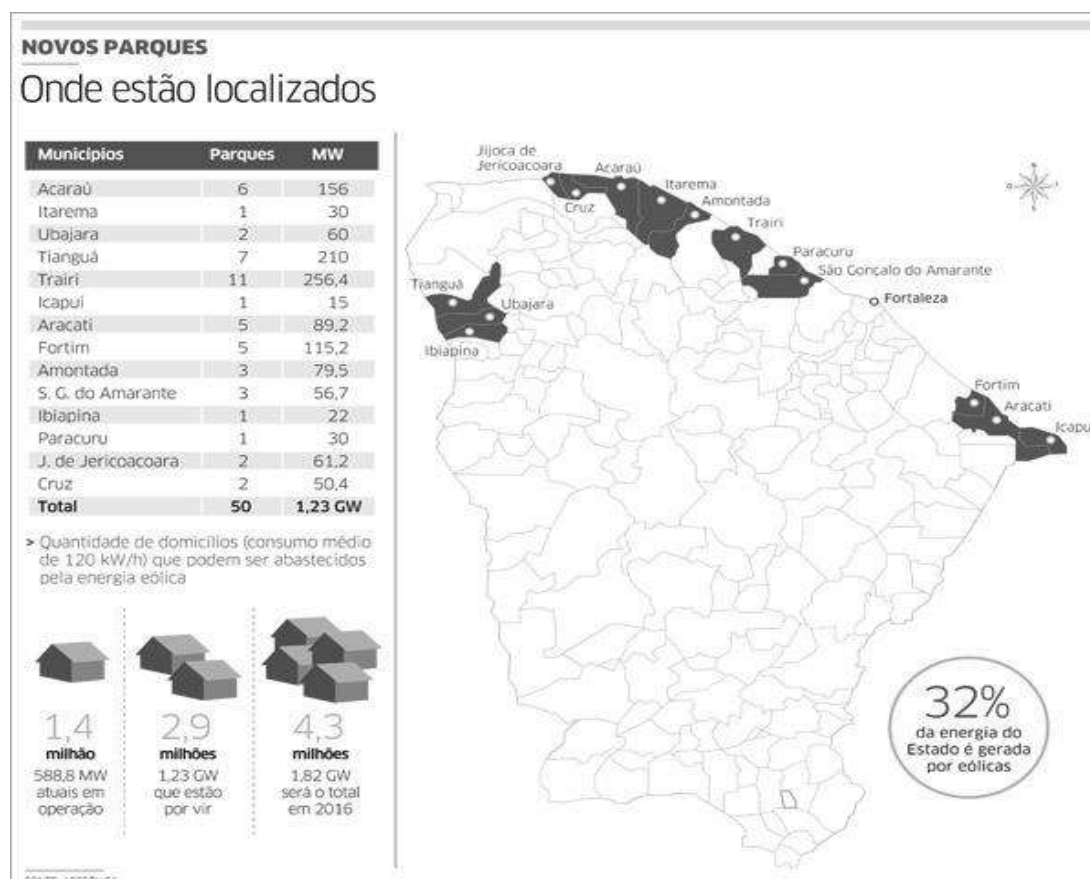
Diante destes investimentos e projetos que o Estado tem em vista, há um gargalo que precisa ser combatido com urgência. De acordo com Linhares (2012), é preciso investir em infraestrutura para o atendimento destas novas usinas que se instalarão no Ceará, pois as empresas responsáveis pela interligação dos parques eólicos falharam e seus planejamentos.

Segundo Jornal Diário do Nordeste (2013), de toda produção energética no Ceará, 32% é proveniente das fontes eólicas. Ainda há uma soberania por parte das fontes termoelétricas que representa 67,5% da produção energética do Estado. Este valor representa 1,2 gigawatt (GW) de energia elétrica. Segundo dados da ABEEOLICA na Figura 2 sobre novos parques eólicos, os municípios que apresentam maior potência instalada são: Trairí com 256,40 MW, Acaraú com 156 e Fortim com 115,2 MW, que



precede as outras tecnologias elétricas, a citar biomassa, das marés e solar conforme sessão vindoura.

**Figura 2 - Parques eólicos contratados e em construção no Ceará**



Fonte: Abeólica (2013)

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa qualitativa caracteriza-se por seu direcionamento no decorrer do plano, não mensurando eventos e nem empregando ferramentas estatísticas para avaliar dados, e como complemento deste tipo de abordagem à obtenção de dados descritivos é feito por meio de pesquisas de campo ou *in loco*, através de contato direto e interativo

do pesquisador com o objeto de estudos, buscando compreender os fenômenos segundo as perspectivas dos participantes e assim apresentar a interpretação dos fenômenos analisados.

Através do ponto de vista de Godoy (1995 *apud* NEVES, 1996) afirma-se que as pesquisas qualitativas, a mesma realizada neste trabalho científico, caracterizam-se por apresentarem um ambiente como fonte direta de estudos e o pesquisador como instrumento fundamental; um carácter descritivo; a significância que as pessoas dão às coisas e a vida como preocupação do investigador, enfoque dedutivo.

Segundo a taxonomia de Vergara (2005) os tipos de pesquisas científicas classificam-se de duas maneiras; quanto aos fins e quanto aos meios. Quanto aos fins o trabalho científico apresenta característica descritiva e exploratória, enquadrando-se como pesquisa expositiva dos fenômenos ou de características populacionais.

Já, quanto aos meios, a pesquisa é bibliográfica e documental. A pesquisa documental “compreende na utilização de documentos [...] como base de uma pesquisa” (MEDEIROS, 2009). Ainda segundo o autor, estes documentos podem ser encontrados em arquivos públicos, em empresas particulares, em arquivos de entidades educacionais e/ou científicas, em instituições religiosas, cartórios, museus, videotecas, filmotecas, correspondências, diários, memórias, autobiografias ou coleções de fotografias.

O instrumento de pesquisa utilizado para este trabalho foi o formulário de entrevista, composto por 14 (catorze) questões subjetivas aplicadas aos gestores das empresas Ener Brasil, IDER e Kwara. Luiz Beltrão (2013 *apud* CAMPOS, 2013), define a entrevista como uma técnica de adquirir matérias de carácter jornalístico através de perguntas e respostas.

A Ener Brasil Soluções em Energia Solar é uma empresa especializada na promoção e implementação de centrais e sistemas solares fotovoltaicos para produzir energia elétrica dentro do campo de energias renováveis. O Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Energias Renováveis (IDER) é uma Organização da Sociedade Civil de Interesse Público (OSCIP) que está apoiada no conceito de desenvolvimento sustentável e preocupada com o meio ambiente com a cultura local e o fortalecimento da participação

popular nos processos de tomada de decisão. A Kwara é uma organização que gerencia e constrói plantas solares, assim como vendas e instalações, manutenção de *kits*, placas solares e geradores eólicos entre outros componentes deste segmento de mercado para aplicação nas áreas industrial, comercial e residencial.

Como tratamento de dados das entrevistas, foi utilizada Análise de Discurso (AD). Segundo Coregnato (2006) a AD não se caracteriza com uma metodologia, mas sim como uma interpretação, baseada pelo confronto epistemológico divergente, comum a área da linguística, do materialismo histórico e da psicanálise. A análise de discurso busca analisar significados apresentados nas variadas formas de produção que se caracterizam em verbais e não verbais, podendo ainda ser cruzadas com series textuais (orais e escritas), imagens (fotografias) ou linguagem corporal (dança). Para isto é necessário que haja sentido para buscar a interpretação destes dados (COREGNATO, 2006).

Operacionalmente, nesta investigação, realizou-se as entrevistas com os gestores das empresas (Ener, IDER e Kwara), nas próprias organizações. Em média, cada entrevista durou cerca de quarenta minutos à uma hora para quatorze questionamentos levantados aos gestores.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As novas tendências exigem que as nações acompanhem o perfil de um país sustentável e consciente dos impactos ambientais já existentes e que suas ações atuais gerem reações futuras para o benefício do planeta. Por conta disto, as empresas Ener Brasil, IDER e Kwara promovem programas de gestão ambiental e sustentabilidade, visando além do benefício da empresa, como é o caso da Ener Brasil e Kwara (isenta-se o IDER, pois trata-se de uma organização da Sociedade Civil de Interesse Público (O.S.C.I.P.)), melhorias na qualidade de vida das gerações futuras.

#### 4.1 Ener Brasil Soluções em Energia Solar

Empresa especializada na promoção e implementação de centrais e sistemas solares fotovoltaicos para produzir energia elétrica dentro do campo de energias renováveis, desenvolve estratégias para que a sociedade encare os novos desafios energéticos e sustentáveis.

A Responsabilidade Socioambiental (R.S.A.) desta empresa mostra um compromisso permanente dos diretores em manter um comportamento ético favorecendo o crescimento econômico, na busca de qualidade de vida para seus funcionários e suas famílias, assim como das comunidades locais e da sociedade em geral. Esta empresa trabalha com o conceito de desenvolvimento sustentável buscando satisfazer as necessidades atuais, sem pôr em risco a capacidade futura de suprir suas obrigações.

A Ener Brasil realiza algumas ações como a inclusão social, incentivo à Educação, apoio financeiro às instituições, coleta de lixo, reciclagens, destinação de resíduos químicos e questões que envolvem a utilização de agentes redutores dos impactos ambientais. A sustentabilidade é parte do cotidiano desta organização visto que além das atividades produtivas que realiza com foco na melhoria da qualidade de vida, envolve o tratamento do meio ambiente e suas influências e relacionamento com fornecedores, clientes internos e externos, com a sociedade por meio da transparência no relacionamento.

Um projeto que a empresa ENER Brasil realiza são: Sistema de Bombeamento Solar para combater a seca. A tecnologia fornecida pela ENER Brasil permite a extração de água de poço em regiões que não possuem infra-estrutura elétrica e hidráulica para o fornecimento de tais recursos, podendo ser aplicado em outras ocasiões. Segundo o *site* da própria empresa, esta tecnologia foi apresentada à Secretaria de Desenvolvimento Agrário do Ceará (S.D.A.). O intuito é bombear água por meio de um sistema solar e eólico nas regiões sertanejas onde a seca é mais persistente.

**Figura 3 - Sistema de Bombeamento de água (Eólico e Solar)**



Fonte: ENER Brasil (2013).

Segundo os dados publicados no *site* da própria empresa, o sistema é constituído por uma bomba submersível alimentada por energia gerada por dois painéis solares instalados e um mini gerador eólico controlado por um gerenciador eletrônico que permite extração de água de um poço de até 100 metros de profundidade sem necessidade de uma ligação à rede elétrica, sendo possível a utilização deste sistema imediatamente em qualquer área. Dependendo da altura manométrica<sup>3</sup> é possível ser extraído 24 m<sup>3</sup>/h, suficientes para irrigar dois hectares de terra com cultivos de alto valor agregado, possibilitando combater e amenizar os problemas da seca nos sertões do Nordeste. Segundo o próprio *site* da ENER Brasil, o sistema de dupla geração eólica-solar favorece um abastecimento contínuo de água e sem custo adicional na energia. Outro programa realizado pela empresa ENER Brasil é o Curso para formação de instaladores em painéis fotovoltaicos, o nome do projeto ficou conhecido como “Instalador Qualificado”. Em parceria com a Universidade Estadual do Ceará (UECE) a empresa ENER Brasil capacita pessoas interessadas em instalar painéis fotovoltaicos

<sup>3</sup> Manometria é o estudo dos manômetros. (dispositivos utilizados na medição de pressão efetiva em função das alturas das colunas líquidas). Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAAeQsAJ/manometria>>.

**Figura 4 - Capacitação de Profissional (projeto Instalador Qualificado)**



Fonte: Ener (2013).

**Figura 5 - Instalação do Sistema Solar no CENEA**



Fonte: Ener (2013).

A iniciativa foi criada e lançada no mercado pela multinacional PROINSO *Solar Energy Supplies* em parceria com a ENER Brasil e a Universidade Estadual do Ceará (UECE). A empresa ENER Brasil possui outros programas e projetos realizados como a instalação de energia solar (plano piloto) no Centro Nacional de Energias Alternativas (CENEA), composta por vinte e quatro painéis fotovoltaicos de 235 watts de potência e dois modelos inversores que usam diferentes tecnologias de conversão.

O projeto de instalação solar-eólico para autoconsumo. A rede é instalada e ligada à rede de distribuição de energia elétrica da Companhia Energética do Ceará (COELCE), funcionando de forma integrada e trocando energia com a rede pública,

subsidiando as fontes já existentes, pode ser chamada de geração para o autoconsumo ou geração distribuída.

**Figura 6 - Instalação Solar em Residência (Fortaleza)**



Fonte: Ener (2013).

Além desses projetos e programas foram realizados outros como: A instalação de Energia solar em condomínio em Fortaleza, Instalação de Energia solar em residências na Praia do Futuro em Fortaleza, Participação na Feira *All About Energy* em 2013 em Fortaleza e no campus da UECE, a ENER desenvolve um projeto de instalação solar no departamento de Física aplicada que busca cumprir dois objetivos: o primeiro é diminuir o gasto de energia na área e o segundo é transformar a instalação em um centro de estudos avançados para pesquisa e produção de energia solar no Estado do Ceará.

#### **4.2 Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Energias Renováveis**

O instituto de Desenvolvimento Sustentável e Energias Renováveis (IDER) é uma Organização da Sociedade Civil de Interesse Público (OSCIP) que está apoiada no conceito de desenvolvimento sustentável e preocupada com o meio ambiente, a cultura local e o fortalecimento da participação popular nos processos de tomada de decisão.

Sua missão é contribuir com o desenvolvimento sustentável, possui como principal ferramenta a disseminação do conhecimento sobre energias renováveis e de tecnologias ambientais e socioeducativas, promovendo o crescimento eficiente e racional, melhorando a qualidade de vida das pessoas e do planeta. Cabe ressaltar que seus principais compromissos é de proteger o meio ambiente, capacitar pessoas para o presente e futuro, disseminar tecnologias e unir forças.

**Figura 7 - Educação Socioambiental e Socioeducativas**



Fonte: Ider (2013).

O aproveitamento de fontes renováveis de energia e as soluções de eficiência energética ganham destaque nas iniciativas do IDER. Exemplos disto são os painéis solares, biodigestores e fogões eco-eficientes, entre outros que permitem elevar a qualidade de vida de famílias, desenvolvendo atividades econômicas sem agredir a natureza. Realizando projetos que evitam a adoção de ações com alto impacto ambiental, como a instalação de motores a diesel ou uso indiscriminado de lenha.



**Figura 8 - Ações Socioambientais e Socioeducativas**



Fonte: Ider (2013).

O fator humano é peça fundamental para as ações do IDER. O Instituto atua com públicos diversificados como agricultores, jovens das grandes cidades, catadores de lixo, técnicos agropecuários, índios yanomamis, entre outros. As pessoas à serem capacitadas devem aprender não apenas o que é energia renovável, mas também em como utilizá-la para fortalecer a sua cidadania.

**Figura 9 - Capacitação de Jovens**



Fonte: Ider (2013).

A primeira iniciativa de capacitação do IDER foi formar técnicos no uso de tecnologias de energias renováveis e em poucos anos, com o aumento do número de projetos de eletrificação rural, iniciaram treinamentos com as famílias beneficiadas, por meio de uma metodologia simples, própria e de linguagem adequada para cada caso, objetivando que a própria comunidade realize pequenos reparos, o que reduz os custos e fortalece a sustentabilidade na região que foi instruída. Pode-se destacar ainda o Curso de Energias Renováveis e Desenvolvimento Sustentável, ofertado pelo IDER em 2002, para a formação e capacitação de profissionais jovens e de baixa renda; além disto, realizou-se ainda o treinamento em 2006 de catadores de lixo quanto a cooperativismo, associativismo e meio ambiente.

O IDER (2013) possui uma equipe técnica multidisciplinar, pois as capacitações do instituto envolvem fatores técnicos e humanos. Em todos seus projetos, a questão de gênero é fundamental, com homens e mulheres dividindo papéis e responsabilidades sempre com igualdade. O IDER preocupa-se ainda com a preservação da cultura local, com a história da comunidade, com seus valores e crenças, e, sobretudo, com as potencialidades sociais e naturais de cada região.

Segundo publicação feita no próprio *site* da Instituição, um total de 20 professores foram selecionados para serem capacitados durante três semanas, com uma carga horária de 8 horas diária. Ressalta-se ainda que o curso de manutenção em usinas eólicas, contará com a participação de dois especialistas da Alemanha, esta ação mostra-se como resposta à crescente demanda do setor por profissionais altamente capacitados e especializados na área de energia eólica. Ainda segundo o Diretor do IDER, Anhalt (2013): Além da demanda que surge da expansão da energia eólica no Ceará, os próprios fabricantes das máquinas sentem a carência de técnicos qualificados para trabalhar nas áreas de operação e manutenção de turbinas.

**Figura 10 Energia Eólica**



Fonte: Ider (2013)

#### **4.2 KWARA Energias do Brasil**

A Kwara é uma empresa nova que presta serviço especializados na manutenção de plantas de geração de energia distribuídas para todo o território brasileiro. Esta organização gerencia e constrói plantas solares, assim como vendas e instalações, manutenção de *kits*, placas solares e geradores eólicos entre outros componentes deste segmento de mercado para aplicação nas áreas industrial, comercial e residencial.

A empresa trabalha principalmente com energias provenientes do Sol, mas realiza também projetos no setor eólico, montagem, operacionalização, manutenção das subestações., medições, revenda de componentes sobressalentes para equipamentos do parque, análise de óleo isolante e lubrificante e detecção de falhas e correção em cabos de rede subterrânea.

Além disto, a empresa presta serviços na manutenção completa de PCH's, assim como detecção de falhas em cabos isolados, análise de óleo, da qualidade da energia gerada e controle térmico dos circuitos de geração e transmissão de energia, inspeção de equipamentos, locações de caminhões *Muck* entre outros projetos. Cabe salientar que a Kwara implantou o parque solar em Russas no Ceará, considerada a maior usina fotovoltaica da América latina e uma das maiores do mundo com potência instalada de 100 MW. Após esta explanação sobre as empresas de energias renováveis no Ceará, apresenta-se a conclusão deste trabalho.

## 5 CONCLUSÕES

Os estudos na área de gestão ambiental e sustentabilidade vêm ganhando diariamente mais força, visto que diante das catástrofes naturais mundiais (furacões, enchentes, maremotos, *tsunamis*, entre outros desastres naturais) ocorridas e que tem causado a morte de muitas pessoas todos os anos. Uma das causas que provavelmente tenha causado o princípio desta cadeia de grandes tragédias seja a forma que os seres humanos cuidam de seu ecossistema.

Assim como foi mencionado nos capítulos anteriores, o ser humano tem contaminado rios, contaminado mares, contaminado o ar, exterminado com espécimes necessárias ao ciclo alimentar, de forma geral, exterminado fauna e flora sem preocupar-se com o verdadeiro significado de desenvolvimento sustentável, cuidar do hoje para manter e termos um futuro de qualidade, com saúde e em sintonia com a “mãe natureza”. Muitas das doenças atuais possuem a cura em micro-organismos pertencentes a animais e plantas, mas muito já se perdeu.

No entanto, esta ideologia muda a passos lentos. Organizações como ENER Brasil, IDER e KWARA, que fazem seu papel implantando projetos que favorecem não apenas o crescimento econômico destas organizações e do Estado onde estes projetos estão sendo instalados, mas beneficia a todo o planeta, pois as informações adquiridas com projetos como parque eólico da UECE, Russas e Tauá, CENEA entre outros, mostram que é possível ter tecnologias, desenvolvimento e meio ambiente em sintonia.

Estas organizações se destacam por estarem realizando projetos na área ambiental e tornam-se modelo de referência para outras organizações que buscam realizar suas atividades socioambientais, cursos, palestras, treinamentos, apoio e incentivo ao desenvolvimento de medidas sustentáveis que reduzam e minimizem todos os impactos causados por ações antrópicas.

Diante da problemática encontrada para a realização desta pesquisa que busca saber quais os programas de gestão ambiental e de sustentabilidade que as empresas pesquisadas que trabalham no setor de energias renováveis promovem, e

diante dos projetos, programas e ações que estas organizações promovem, nem sempre de forma gratuita, mas com a intenção de disseminar novas tecnologias que favorecem o meio ambiente, conclui-se, portanto, que estas organizações estão dedicando-se a inovar seus produtos para que não venham a agredir ainda mais a natureza, como os vetores energéticos considerados poluentes.

Com a pesquisa foi possível identificar que estas organizações estão contribuindo com a sociedade, realizando estudos, investindo em novas tecnologias, formando novas empresas em outras regiões que possuem algum dos tipos de potenciais energéticos, e com isso, gerando empregos, favorecendo a educação entre outros benefícios de forma indireta, mas sempre em prol do meio ambiente. Cabe ressaltar que estas organizações são fiscalizadas periodicamente por organismos do governo do Estado e da Federação Brasileira.

As análises realizadas após as pesquisas de campo e bibliográfica mostraram que estas empresas atendem ao objetivo geral proposto para o estudo que era identificar os programas que estas organizações promovem e concomitantemente, atendem ao objetivo específico que é o de analisar a percepção dos gestores quanto aos impactos que os programas provocam.

Esta pesquisa identificou que, no que se refere as opiniões dos gestores sobre os impactos de seus programas, tais ações são bastante benéficas tanto para a empresa que obtém um *feedback* da população por estarem sendo atendidos e realizando medidas sustentáveis que favorecem todo o planeta. Além disto, tais programas contribuem para a disseminação do conhecimento e dos cuidados que se deve ter para com a natureza.

Programas como instalação de usinas geradoras de energia eólica, solar, marés são casos em que se produz pouca alteração no meio ambiente, geralmente apenas visual, quando comparados com as fontes não renováveis que liberam substâncias que poluem de forma agressiva e destruidora. As usinas hidrelétricas são um caso à parte no meio das energias renováveis, visto que este tipo de tecnologia, apesar de ser considerada limpa, possui inicialmente um efeito devastador que é a

inundação das áreas e regiões no local de instalação. No ponto de vista de alguns gestores, o que falta é mais investimentos no setor renovável.

Algumas das limitações dos estudos, foram a pouca disponibilidade das empresas pesquisadas, visto que os gestores são muito compromissados, o que dificultava a aplicação dos questionários, o idioma natural de alguns gestores era o Alemão e o Espanhol, no entanto estes já moravam no Brasil a algum tempo, em média 12 anos, mas algumas palavras ficavam meia que incompreensíveis. Além disto, há as poucas empresas que facilitavam o estudo fornecendo materiais, outras empresas nem respondiam aos *e-mails* encaminhados com os pedidos de entrevistas. Ainda assim, uma das restrições para a conclusão desta pesquisa científica foram informações fidedignas e seguras que constam em poucos materiais de consulta.

Portanto, percebe-se que há interesse por parte das empresas que trabalham no setor em desenvolver novas tecnologias e realizar novos investimentos no setor de energias limpas. Com base nesses novos conhecimentos adquiridos, seria de grande valor conduzir novos estudos sobre energias alternativas aliadas ao desenvolvimento ambiental e das grandes cidades, como prédios e residências que podem gerar energia para o abastecimento de redes elétricas através de um sistema híbrido de energia solar e eólica, e assim, reduzir o número de hidrelétricas e fontes não renováveis.

## 6 REFERÊNCIAS

BORGES, R. C. de O.; PINHEIRO, D. R. de C.; SILVA, K. M. de S. Expansão Imobiliária: Considerações sobre a vulnerabilidade ambiental-urbana de Guaramiranga Ceará. *In: ENCONTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS DO NORTE E NORDESTE E PRÉ-ALAS BRASIL*, 15., 2012, Teresina, PI. **Anais** [...] Teresina, PI: UFPI, 2012.

CAMPOS, P. C. **O que é entrevista? – Técnicas de Entrevistas**. Disponível em: <http://focasnaarea.wikispaces.com/o+que+%C3%A9+entrevista%3F>. Acesso em: 02 jun. 2013.

LINHARES, Adão. **Energia dos Ventos**. Caderno Projeto Raios-X – Infraestrutura: TI, Energia, Transporte e Telefonia, Fortaleza: Jornal o Povo, 2012.

MEDEIROS, João Bosco. **Redação Científica: a prática de fichamentos, resumos, resenhas.** 11 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

NASCIMENTO, Lucyellen Vieira do. **Energia eólica do Ceará: uma alternativa para o desenvolvimento sustentável.** 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal do Ceará, Faculdade de Economia, Administração, Atuária e Contabilidade, Fortaleza, 2011.

NEVES, J. L. Pesquisa Qualitativa – Características, Usos e Possibilidades. **Caderno de Pesquisas em Administração**, v.1, n. 3, p. 1-5, 1996.

PORTO, Laura. **Energias Renováveis.** Ministério de Minas e Energia. São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/galerias/arquivos/apresentacao/VI.pdf>. Acesso em: 07 mai. 2013.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em Administração.** 6 ed. São Paulo: Atlas, 2005.

# I SIMPÓSIO DE MEIO AMBIENTE E ENERGIA



**TRABALHOS DA ÁREA DE SEGURANÇA AMBIENTAL**





## ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA DE MICROPARTÍCULAS DE ÓLEO DE PEQUI (*CARYOCAR CORIACEUM* WITTM.) EM MATRIZ POLIMÉRICA DE ALGINATO E QUITOSANA

Rachel M. Castelo<sup>\*1</sup>, Luana C. da Silva<sup>2</sup>, Joana de B. Alexandre<sup>1</sup>, Gabrielle A.  
Freire<sup>1</sup>, Tiago L. C. T. Barroso<sup>3</sup>, Roselayne F. Furtado<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Estadual do Ceará,  
Centro de Ciências e Tecnologia, \*e-mail: rachel.menezes@aluno.uece.br.

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Estadual do Ceará.

<sup>3</sup>Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Ceará.

<sup>4</sup>Laboratório de Embalagens, Embrapa Agroindústria Tropical.

**RESUMO:** Óleo de pequi apresenta em sua constituição altos teores de substâncias antioxidantes, compostos fenólicos, vitamina A e E, substâncias essas sensíveis a presença de luz e oxigênio. A fim de proporcionar maior estabilidade a esses compostos, as técnicas de microencapsulação vêm sendo aplicadas. Micropartículas apresentam diferentes características a depender da matriz, da técnica de microencapsulação e do método de secagem utilizados. Estabilidade térmica das micropartículas resultantes é sempre importante para aplicações a nível industrial. O objetivo desse trabalho foi realizar análise termogravimétrica (TGA) de micropartículas de óleo de pequi (OP) com matrizes de quitosana (QT)/ alginato (AG) e de alginato, submetidas as secagens em estufa e em liofilizador. A perda de massa percentual foi calculada em relação ao tempo e os resultados foram expressos em derivada. As microcápsulas de QT/AG/OP apresentaram maior temperatura e entalpia de degradação do que AG/OP, podendo inferir assim que elas obtiveram melhor estabilidade térmica. Independentemente do método de secagem aplicado, as partículas de QT/AG/OP apresentaram o primeiro pico de degradação em 375 °C, sendo a matriz de polissacarídeo adequada para a proteção do óleo em termos de resistência térmica.

**Palavras-chave:** Encapsulamento. Gelificação iônica. Degradação Térmica.

**ABSTRACT:** Pequi oil has high levels of antioxidant substances, phenolic compounds, vitamin A and E, substances that are sensitive to the presence of light and oxygen. In order to provide greater stability to these compounds, microencapsulation techniques have been applied. Microparticles have different characteristics depending on the matrix, the microencapsulation technique and the drying method used. Thermal stability of the resulting microparticles is always important for industrial applications. The objective of this work was to perform thermogravimetric analysis (TGA) of pequi oil microparticles (OP) with chitosan (QT) / alginate (AG) and alginate matrixes, submitted to oven drying and freeze drying. The percentage weight loss was calculated over time and the results were expressed as a derivative. The QT / AG / OP microcapsules showed a higher temperature and enthalpy of degradation than AG / OP, thus being able to infer that they obtained better thermal stability. Regardless of the drying method applied, the QT / AG / OP particles showed the first degradation peak at 375 ° C, thus the polysaccharide matrix was suitable for oil protection in terms of thermal resistance.

**Keywords:** Encapsulation. Ionic Gelation. Thermal degradation

## 1 INTRODUÇÃO

O pequi ( *Caryocar coriaceum* Wittm.) é uma espécie arbórea nativa do cerrado brasileiro pertencente à família Caryocaraceae (ASCARI; TAKAHASHI; BOAVENTURA, 2013). A espécie é considerada de elevada importância econômica, uma vez que há variadas formas de sua utilização, atendendo aos setores alimentícios, medicinal e cosmético (EMERENCIANDO, 2017). O óleo da polpa do pequi é constituído majoritariamente pelos ácidos graxos palmítico (35,17%) e oleico (55,87%), sendo o total de saturados 37,97% e de insaturados 61,35%, apresentando ainda 0,68% não identificados (DE LIMA *et al.*, 2007). Essas características relativas aos ácidos graxos

insaturados são muito importantes, já que o consumo de ácidos graxos insaturados tem sido relatado como benéfico à saúde (ASCHERIO *et al.*, 1996). Óleo de pequi devido a sua composição química tem ganhado destaque em pesquisas científicas, podendo o encapsulamento favorecer a preservação das características dos compostos bioativos presentes por um tempo maior.

A gelificação iônica é um método de microencapsulação que possui a vantagem de empregar condições suaves, uma vez que não utiliza altas temperaturas, agitação vigorosa ou solventes orgânicos, sendo adequada para o encapsulamento de substâncias que se degradariam sob tais condições (COLAK *et al.*, 2016). Vários métodos de secagem podem ser empregados de modo a favorecer a estocagem das micropartículas. A secagem é o processo no qual uma fonte de calor é aplicada em condições controladas para retirada de substância volátil (não exclusivamente, água) presente no material utilizando o processo de evaporação, produzindo produtos sólidos (MONTEIRO; AZEREDO, 2012). O principal objetivo para secagem de um alimento ou produto é estender o prazo de validade e proteção, assim a ausência de água no material inibe o crescimento microbiano e a atividade enzimática.

A análise termogravimétrica (TGA) é utilizada para investigar processos relacionados a estabilidade térmica e decomposição, desidratação e oxidação, medindo as variações da massa de uma amostra em função da temperatura e do tempo durante o aquecimento (TENGKU-ROZAINA; BIRCH, 2019; XIAO *et al.*, 2014), sendo uma forma de avaliar a resistência térmica de partículas encapsuladas. O objetivo deste estudo foi realizar a análise termogravimétrica de micropartículas de óleo de pequi, produzidas por gelificação iônica, em matriz polimérica de alginato e quitosana, submetidas a dois métodos de secagem: secagem em estufa e liofilização.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Material

Neste trabalho foi utilizado o material a seguir: sal de Alginato de sódio da Dinâmica® de média viscosidade, com grau de pureza de 90%, Quitosana de baixo peso molecular (75-85% de desacetilação) da Sigma-Aldrich, cloreto de cálcio da Dinâmica, Surfactantes Span 80 e Tween 80 (Dinâmica Química).

O pequi (*C. coriaceum*) foi adquirido diretamente de produtores em Barbalha-CE, sendo feito a extração do óleo da polpa do fruto no Laboratório de Processos Agroindustriais (EMBRAPA) pelo método de extração a frio. A polpa foi submetida à temperatura  $\leq 45$  °C em fogão industrial e centrifugada a 4500 rpm por 15 min, para separação do óleo, e armazenado em frascos de vidros a 5 °C.

## 2.2 Formação das micropartículas

Para a preparação da emulsão a ser microencapsulada de óleo de pequi e alginato de sódio, preparou-se o alginato 1,2% (m/v) em água destilada (100 mL) permanecendo sob agitação por 24 h em temperatura ambiente (25 °C). Foi adicionado Tween 80 (0,55%) na solução de alginato e homogeneização em Ultra-Turrax® (T-25 digital, IKA®), sendo agitada à 12.000 rpm por 2 min. A fase oleosa foi concluída pela mistura da solução, anteriormente preparada, de alginato de sódio juntamente com óleo de pequi (2 g) e tensoativo Span 80 (0,45%). Ao final, a mistura foi homogeneizada em Ultra-Turrax®, sendo agitada à 12.000 rpm por 5 min. Para elaboração das partículas por gelificação iônica foi utilizada a técnica de extrusão, utilizando o equipamento Encapsulador Büchi B-395 (marca Büchi, Essen, Alemanha). A emulsão foi gotejada em uma solução de cloreto de cálcio 1,3% (m/v) e quitosana 1,2% (m/v). No tratamento para formação das micropartículas com matriz de alginato, utilizou-se apenas uma solução de cloreto de cálcio 1,3% (m/v). Utilizou-se um bico de gotejamento com diâmetro de 120  $\mu$ m, frequência de 120 Hz, voltagem de 300 v e agitação de 80%. As esferas foram submetidas à secagem: a) em estufa de aquecimento a 50 °C por 2h30 min e b). secas por liofilização, foi utilizado o liofilizador da marca CHRIST, modelo 1-8 LSCbasic.

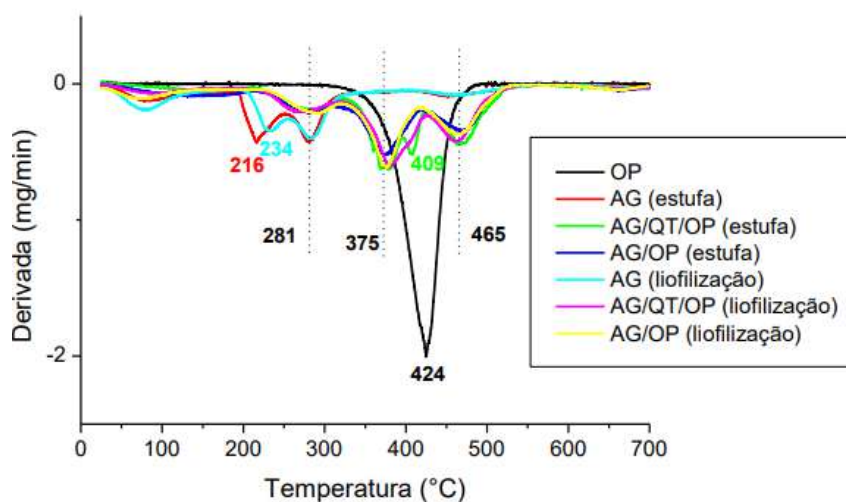
### 2.3 Análise térmica

Para a caracterização térmica das micropartículas de óleo de pequi por TGA utilizou-se o equipamento STA 6000 da PerkinElmer. Aproximadamente 10 mg das amostras foram pesadas e investigadas nas faixas de temperatura de 25 a 750 °C com taxa de aquecimento de 10 °C/min e fluxo de vazão de gás nitrogênio de 20 mL/min.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise termogravimétrica (TGA) é uma técnica na qual as mudanças na massa de uma amostra são medidas em função do tempo e da temperatura, uma vez que é submetida a um programa de temperatura controlada em uma atmosfera controlada (CAI *et al.*, 2018). No entanto, a TGA sozinha não é suficiente para interpretar a perda de peso da amostra. Assim, a termogravimetria derivada (DTG) é utilizada pois, ao aplicarmos as operações de derivação aos termogramas brutos, fornece uma melhora nas informações contidas no termograma (RAMBO *et al.*, 2015). A Figura 1 apresenta as curvas de DTG para as amostras de óleo de pequi (OP), micropartículas de Alginato (AG), micropartículas de Quitosana, Alginato e Óleo de pequi (QT/AG/OP) e AG/OP, sendo observada a influência do método de secagem (estufa e liofilização) na degradação térmica.

**Figura 1 – Análise termogravimétrica das micropartículas de óleo de pequi**



Fonte: Elaborado pelos autores.

O OP teve sua degradação em aproximadamente 424 °C. As micropartículas de alginato secas em liofilizador e estufa apresentaram um evento de degradação em aproximadamente 100 °C, sendo referente à perda de água (DA SILVA; DE PAULA; FEITOSA, 2007), e outro evento de degradação polimérica em aproximadamente 215 °C. As micropartículas de AG/QT/OP, independentemente do método de secagem aplicado, apresentaram o primeiro pico de degradação em 375 °C, indicando uma melhor estabilidade devido a afinidade das interações eletrostáticas dos polímeros (CHANG *et al.*, 2016). As micropartículas de AG/OP também não sofreram influência na degradação térmica quanto ao método de secagem, tendo eventos semelhantes iniciando em 281 °C.

#### 4 CONCLUSÕES

As micropartículas de óleo de pequi obtidas por gelificação iônica em matriz polimérica de alginato e quitosana apresentaram melhores resultados de estabilidade térmica, independente do método de secagem. Resultados como estes são importantes quando se busca uma aplicação comercial na área alimentícia, e, é necessário definir a

melhor condição de secagem das partículas baseando-se na temperatura e entalpia de degradação.

## 5 AGRADECIMENTOS

À EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) pela infraestrutura e suporte financeiro.

## 6 REFERÊNCIAS

ASCARI, J.; TAKAHASHI, J. A.; BOAVENTURA, M. A. D. The phytochemistry and biological aspects of Caryocaraceae family. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 15, n. 2, p. 293–308, 2013.

ASCHERIO, A.; RIMM, E. B.; GIOVANNUCCI, E. L.; SPIEGELMAN, D.; STAMPFER, M.; WILLETT, W. C. Dietary fat and risk of coronary heart disease in men: Cohort follow up study in the United States. **British Medical Journal**, v. 313, n. 7049, p. 84–90, 1996.

CAI J.; XU, D.; DONG, Z.; YU, X.; YANG, Y.; BANKS, S. W.; BRIDGWATER, A. V. Processing thermogravimetric analysis data for isoconversional kinetic analysis of lignocellulosic biomass pyrolysis: Case study of corn stalk. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 82, p. 2705-2715, 2018

COLAK, N.; TORUN, H.; GRUZ, J.; STRNAD, M.; HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I.; HAYIRLIOGLU-AYAZ, S. AYZAZ, F. A. Bog bilberry phenolics, antioxidant capacity and nutrient profile. **Food Chemistry**, v. 201, p. 339–349, 2016.

DA SILVA, D. A.; DE PAULA, R. C. M.; FEITOSA, J. P. A. Graft copolymerisation of acrylamide onto cashew gum. **European Polymer Journal**, v. 43, n. 6, p. 2620–2629, 2007.

DE LIMA, A.; SILVA, A. M. D. O.; TRINDADE, R. A.; TORRES, R. P.; MANCINI-FILHO, J. Composição química e compostos bioativos presentes na polpa e na amêndoa do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, n. 3, p. 695–698, 2007.

EMERENCIANDO, Nathália Moura Jordão. **Avaliação da atividade antibacteriana do óleo de pequi extraído artesanalmente (*Caryocar sp.*)**. 2017. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Nutrição) – Centro Acadêmico de Vitória, Universidade Federal de Pernambuco, Vitória de Santo Antão, 2017.



DE AZEREDO, Henriette Monteiro Cordeiro **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. 2. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 326 p.

OLIVEIRA, E. F.; PAULA, H. C. B.; PAULA, R. C. M. Alginate/cashew gum nanoparticles for essential oil encapsulation. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 113, p. 146-151, 2014.

RAMBO, M. K. D.; RAMBO, M. C. D.; ALMEIDA, K. J. C. R.; ALEXANDRE, G. P. Estudo de análise termogravimétrica de diferentes biomassas lignocelulósicas utilizando a análise por componentes principais. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 3, p. 862-868, 2015.

TENGGU-ROZAINA, T. M.; BIRCH, E. J. Thermal Analysis for Lipid Decomposition by DSC and TGA. *In*: VARELIS, P.; MELTON, L.; SHAHIDI, F. **Encyclopedia of food chemistry**. Elsevier, 2019. v. 2, p. 345-352.

XIAO, Z.; LIU, W.; ZHU, G.; ZHOU, R.; NIU, Y. Production and characterization of multinuclear microcapsules encapsulating lavender oil by complex coacervation. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 29, n. 3, p. 166-172, 2014.



## ATIVIDADE ANTIFÚNGICA E COMPOSTOS FENÓLICOS DE PLANTAS DA FAMÍLIA ANACARDIACEAE

**Andréa M. Neves<sup>\*1</sup>, Josilayne F.S. Mendes<sup>2</sup>, Francisco Flávio S. Lopes<sup>3</sup>, Raquel  
O.S. Fontenelle<sup>2</sup>, Selene M. Morais<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Estadual do Ceará, \*e-mail: andreamarianeves@gmail.com.

<sup>2</sup>Universidade Estadual Vale do Acaraú, Centro de Ciências Biológicas.

<sup>3</sup>Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia.

**RESUMO:** As patologias fúngicas causadas por espécies do gênero *Candida*, em especial *C. albicans* são consideradas grande problema de saúde pública. Considerando as limitações da terapia existente para esta patologia e a necessidade de novas alternativas médicas, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o teor de compostos fenólicos e atividade antifúngica dos extratos etanólicos das folhas (EEF) e da casca do caule (EECC) de espécies de Anacardiaceae. As folhas e cascas do caule das espécies foram maceradas em etanol, e logo em seguida submetidas em evaporador rotativo, obtendo-se os extratos etanólicos. Na sequência foi realizada a quantificação do teor de compostos fenólicos pelo método de Folin-Ciocalteu e em seguida foi realizado o ensaio antifúngico por meio da técnica de microdiluição em caldo contra duas espécies de *Candida*. A espécie *M. indica* apresentou os maiores conteúdos de fenóis totais. Todas as espécies apresentaram atividade antifúngica contra todas as cepas de *Candida* spp. selecionadas. Enfatizando a importância de estudos posteriores sobre isolados químicos e outras atividades biológicas para aplicações farmacêuticas.

**Palavras-chave:** Bioatividade. Bioprospecção. Metabólitos.

**ABSTRACT:** Fungal pathologies caused by species of the genus *Candida*, especially *C. albicans* are considered a major public health problem. Considering the limitations of the existing therapy for this pathology and the need for new medical alternatives, the present work aims to evaluate the content of phenolic compounds and antifungal activity in the ethanolic extracts of leaves (EEF) and stem bark (EECC) of species of Anacardiaceae. The leaves and bark of the species' stem were macerated in ethanol, and immediately afterwards submitted to a rotary evaporator, obtaining the ethanol extracts. Then, the content of phenolic compounds was quantified by the Folin-Ciocalteu method and then the antifungal test was carried out using the broth microdilution technique against two species of *Candida*. The species *M. indica* had the highest content of total phenols. All species showed antifungal activity against all strains of *Candida* spp. selected. Emphasizing the importance of further studies on chemical isolates and other biological activities for pharmaceutical applications.

**Keywords:** Bioactivity. Bioprospecting. Metabolites

## 1 INTRODUÇÃO

As patologias fúngicas, atualmente estão entre as doenças de mais difícil controle. A candidíase é a patologia fúngica mais prevalente em humanos, sendo a espécie *C. albicans* a principal cepa responsável por doenças que podem afetar a pele ou a mucosa, ou ainda entrar na corrente sanguínea e se dissipar pelos órgãos internos. Uma outra problemática enfrentada na clínica é a resistência aos antifúngicos atuais, como os derivados azólicos ocasionado pelo surgimento de espécies multirresistentes (BEZERRA *et al.*, 2020). Assim a descoberta de uma nova terapêutica capaz de combater os fatores de virulência microbiana e, ou reduzir a resistência aos medicamentos é um grande paradigma atual (SADOWSKA *et al.*, 2017). As plantas medicinais são recursos terapêuticos cada vez mais empregados em todo o mundo com a finalidade de manter uma boa saúde, prevenir ou mesmo tratar alguns agravos. Associado a isso, estudos tem

demonstrado que estes vegetais apresentam uma variedade de compostos químicos ativos denominados metabólitos secundários que atuam em sinergia, conferindo uma ampla diversidade de bioatividades, incluindo atividade antifúngica, sendo, portanto, objeto de crescente interesse científico para potencial aplicação farmacêutica (KHAN *et al.*, 2019; SADOWSKA *et al.*, 2017; MARTINS *et al.*, 2015).

A família Anacardiaceae é representada por aproximadamente 75 gêneros e mais de 700 espécies distribuídas em regiões tropicais e subtropicais do mundo, a qual é composta por espécies de árvores ou arbustos, usadas como ornamentais e também para fins medicinais (MADIKIZELA; ADEROGBA; VAN STADEN, 2013). Dentre os representantes desta família podemos citar, *Anacardium occidentale* popularmente conhecida como cajueiro, *Spondias mombin* conhecida como cajá e *Mangifera indica* (mangueira). Estas espécies são empregadas na medicina popular contra alergias, diarreia, micoses superficiais e diabetes, atuando também como antitumoral, antidepressiva, anti-inflamatório e ansiolítico (NIVEDHA *et al.*, 2020; SANTOS; AMARAL; SILVA, 2018; SANTOS *et al.*, 2018; SAMPAIO *et al.*, 2018). Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi investigar a atividade antifúngica e quantificar os compostos fenólicos dos extratos etanólicos de *A. occidentale*, *S. mombin* e *M. indica*.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

As folhas e cascas do caule das espécies foram coletados em diferentes locais do Parque Estadual do Cocó em Fortaleza, Ceará (Tabela 1). A identificação botânica das espécies foi realizada no Herbário Prisco Bezerra da Universidade Federal do Ceará – UFC.

**Tabela 1 - Identificação das espécies de Anacardiaceae coletadas no Parque Estadual do Cocó em Fortaleza, Ceará**

<b>Espécie</b>	<b>Nome popular</b>	<b>Família</b>	<b>Amostra</b>	<b>Nº tombo</b>
Anacardium occidentale	Cajueiro	Anacardiaceae	Casca do caule	63659
Spondias mombin	Cajazeira	Anacardiaceae	Folhas	63061
Mangifera indica	Mangueira	Anacardiaceae	Casca do caule	63407

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para o preparo dos extratos, 50 g do material vegetal seco (folhas e casca do caule) foi triturado e imerso em 200 mL de etanol durante 10 dias e, na sequência o extrato foi filtrado e concentrado em um evaporador rotativo a 60 °C e, após este processo, foi mantido em banho-maria (40 °C) até a eliminação total do solvente, obtendo-se o extrato etanólico das folhas (EEF) e o extrato etanólico da casca do caule (EECC) (MATOS, 2009). A determinação do teor de fenóis totais foi realizada por meio de espectroscopia na região do visível utilizando o método do Folin-Ciocalteu descrito por Sousa *et al.* (2007). No ensaio para verificação da concentração inibitória mínima (CIM) dos extratos etanólicos das espécies estudadas foram utilizadas cepas de *Candida* spp. Para atividade antifúngica foi utilizado o método de microdiluição em caldo, de acordo com a metodologia descrita por Fontenelle *et al.* (2007) e com as normas do protocolo Clinical Laboratory Standards Institute (CLSI M27 – A3, 2008).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos na determinação dos fenóis totais dos extratos etanólicos de Anacardiaceae são apresentados na Tabela 2. Os compostos fenólicos são

metabólitos secundários caracterizados quimicamente por apresentarem em sua estrutura vários grupos benzênicos característicos, substituídos por grupamentos hidroxilas. São substâncias presentes em grande abundância no reino vegetal, em particular nas frutas e em outros vegetais (MORAIS *et al.*, 2016). Todos os extratos avaliados apresentaram altos teores de compostos fenólicos, quando comparados a dados descritos na literatura para as mesmas espécies (ABDULLAH *et al.*, 2015; OMOREGIE; OIKEH, 2015). O menor teor de compostos fenólicos foi registrado no EEF de *S. mombin* e o maior teor, no EECC de *A. occidentale*. Os resultados mostram que estes extratos são boas fontes de fenóis, metabólitos com diversas atividades biológicas e farmacológicas amplamente descritas na literatura.

**Tabela 2 - Teor de fenóis de espécies de *Anacardiaceae***

<b>Espécie vegetal</b>	<b>Fenóis (mg EAG. g<sup>-1</sup> de extrato*)</b>
<i>A. occidentale</i>	452,53 ± 15,15
<i>S. mombin</i>	297,46 ± 26,94
<i>M. indica</i>	493,44 ± 13,89

\*Miligrama Equivalente ao Ácido Gálico por grama de extrato.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Com relação a atividade antifúngica, foi observado inibição sobre todas as espécies de *C. albicans* e *C. tropicallis* (Tabela 3). Os resultados evidenciaram maior atividade antifúngica para o EEC de *A. occidentale* quando comparada as outras espécies. Estudos mostram que a presença de grupos hidroxílicos nos compostos fenólicos pode formar pontes de hidrogênio com enzimas do metabolismo microbiano desativando-as e inibindo o desenvolvimento da biomassa fúngica, justificando portanto, que esta atividade apresentada pelas espécies de *Anacardiaceae* poderá estar associada a seus compostos fenólicos (SOUZA *et al.*, 2010).

**Tabela 3 - Concentração Inibitória Mínima (CIM) e Concentração Fungicida Mínima (CFM) de extratos etanólicos de espécies de *Anacardiaceae* frente a fungos leveduriformes**

Cepas	<i>C. albicans</i> (0105)		<i>C. albicans</i> (0106)		<i>C. tropicalis</i> (0110)		<i>C. tropicalis</i> (0111)	
	MIC mg/mL	MFC	MIC mg/mL	MFC	MIC mg/MI	MFC	MIC mg/mL	MFC
<i>A. occidentale</i>	0,039	0,078	0,039	0,078	0,039	0,078	0,039	0,078
<i>S. mombin</i>	0,31	0,62	0,15	0,31	0,15	0,31	0,31	0,62
<i>M. indica</i>	0,15	0,31	0,078	0,15	0,039	0,078	0,078	0,15
<i>Anfotericina</i>	0,5 µg/mL		0,25 µg/mL		0,5 µg/mL		0,25 µg/mL	

Fonte: Elaborado pelos autores.

#### 4 CONCLUSÕES

Foram detectados nos EEF e EECC das espécies de *Anacardiaceae* a presença de fenóis totais, com ênfase na espécie de *M. indica* que apresentou o maior teor deste metabólito. Quanto a atividade antifúngica, evidenciou-se efeito inibitório das espécies vegetais sobre todas as cepas de *Candida* spp. Os resultados apontam que as espécies de *Anacardiaceae* representam potenciais fontes para obtenção de compostos para estudos clínicos e farmacológicos adicionais, visando o desenvolvimento de novos agentes farmacológicos naturais.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia- RENORBIO, a Universidade Estadual vale do Acaraú – UVA e ao Laboratório de Química de Produtos Naturais da Universidade Estadual do Ceará-UECE pelo apoio técnico e a Fundação

Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico-FUNCAP pela bolsa concedida.

## 6 REFERÊNCIAS

ABDULLAH, A. S. H.; MOHAMMED, A. S.; ABDULLAH, R.; MIRGHANI, M. E. S. Identification and quantification of phenolic compounds in *Mangifera indica* waterlily kernel and their free radical scavenging activity. **Journal of Advanced Agricultural Technologies**, v. 2, n. 1, p. 1-7, 2015.

BEZERRA, C. F.; ROCHA, J. E.; NASCIMENTO SILVA, M. K.; FREITAS, T. S.; SOUSA, A. K.; CARNEIRO, J. N. P.; SALES, D. L.; COUTINHO, H. D. M.; RIBEIRO, P. R. V.; BRITO, E. S.; COSTA, J. G. M.; MENEZES, J. R. A.; ALMEIDA, W. O.; MORAIS-BRAGA, F. V. UPLC-MS-ESI-QTOF analysis and Anti-Candida activity of fractions from *Psidium guajava* L. **South African Journal of Botany**, v. 131, p. 421-427, 2020.

CLINICAL AND LABORATORY STANDARDS INSTITUTE. Reference Method for Broth Dilution Antifungal Susceptibility Testing of Yeasts Approved Standard-third edition, vol. M27-A3, 3 ed. CLSI document M27- A3, Wayne, PA, 2008.

FONTENELLE, R. O. S.; MORAIS, S. M.; BRITO, E. H. S.; KERNTOPF, M. R.; BRILHANTE, R. S. N.; CORDEIRO, R. A.; TOMÉ, A. R.; QUEIROZ, M. G. R.; NASCIMENTO, N. R. F.; SIDRIM, J. J. C.; ROCHA, M. F. G. Chemical composition, toxicological aspects and antifungal activity of essential oil from *Lippia sidoides* Cham. **Journal of Antimicrobial Chemotherapy**, v. 59, n. 5, p. 934-940, 2007.

KHAN, S. N.; KHAN, S.; MISBA, L.; SHARIEF, M.; HASHMI, A.; KHAN, A. U. Synergistic fungicidal activity with low doses of eugenol and amphotericin B against *Candida albicans*. **Biochemical and biophysical research communications**, v. 518, n. 3, p. 459-464, 2019.

MADIKIZELA, B.; ADEROGBA, M. A.; VAN STADEN, J. Isolation and characterization of antimicrobial constituents of *Searsia chirindensis* L. (Anacardiaceae) leaf extracts. **Journal of ethnopharmacology**, v. 150, n. 2, p. 609-613, 2013.

MARTINS, N.; BARROS, L.; HENRIQUES, M.; SILVA, S.; FERREIRA, I. C. Activity of phenolic compounds from plant origin against *Candida* species. **Industrial Crops and Products**, v. 74, p. 648-670, 2015.

MATOS, Francisco José de Abreu. **Introdução à Fitoquímica Experimental**. 3 ed. Fortaleza: UFC. 2009. 150 p.

MORAIS, N. R. L.; OLIVEIRA NETO, F. B.; MELO, A. R.; BERTINI, L. M.; SILVA, F. F. M.; ALVES, L. A. Prospecção fitoquímica e avaliação do potencial antioxidante de

*Cnidoscopus phyllacanthus* (müll. Arg.) Pax & k. hoffm. Oriundo de apodi–RN. **Revista Brasileira de Plantas Medicinai**s, v.18, n. 1, p. 180-185, 2016.

NIVEDHA, K.; SIVASAKTHI, S.; PRAKASH, A.; DEVIPRIYA, N.; VADIVEL, V. *In vitro* studies on antioxidant and cyto-protective activities of polyphenol-rich fraction isolated from *Mangifera indica* leaf. **South African Journal of Botany**, v. 130, p. 396-406, 2020.

OMOREGIE, E. S.; OIKEH, E. I. Comparative studies on the phytochemical composition, phenolic content and antioxidant activities of methanol leaf extracts of *Spondias mombin* and *Polyathia longifolia*. **Jordan Journal of Biological Sciences**, v. 147, n. 3427, p. 1-5, 2015.

SADOWSKA, B.; BUDZYŃSKA, A.; STOCHMAL, A.; ŻUCHOWSKI, J.; RÓŻALSKA, B. Novel properties of *Hippophae rhamnoides* L. twig and leaf extracts-anti-virulence action and synergy with antifungals studied *in vitro* on *Candida* spp. model. **Microbial pathogenesis**, v. 107, p. 372-379, 2017.

SAMPAIO, T. I.; DE MELO, N. C.; DE FREITAS PAIVA, B. T.; DA SILVA ALELUIA, G. A.; DA SILVA NETO, F. L. P.; DA SILVA, H. R.; BALDERAS, J. L. Leaves of *Spondias mombin* L. a traditional anxiolytic and antidepressant: Pharmacological evaluation on zebrafish (*Danio rerio*). **Journal of ethnopharmacology**, v. 224, p. 563-578, 2018.

SANTOS, C. C. S.; GUILHON, C. C.; MORENO, D. S. A.; ALVIANO, C. S.; DOS SANTOS ESTEVAM, C.; BLANK, A. F.; FERNANDES, P. D. Anti-inflammatory, antinociceptive and antioxidant properties of *Schinopsis brasiliensis* bark. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 213, p. 176-182, 2018.

SANTOS, G. H. F.; AMARAL, A.; SILVA, E. B. Antibacterial activity of irradiated extracts of *Anacardium occidentale* L. on multiresistant strains of *Staphylococcus aureus*. **Applied Radiation and Isotopes**, v. 140, p. 327-332, 2018.

SOUSA, C. M. M.; SILVA, H. R.; VIEIRA-JUNIOR, G. M.; AYRES, M. C. C.; COSTA, C. L. S.; ARAÚJO, D. S.; CAVALCANTE, L. C. D.; BARROS, E. D. S.; ARAÚJO, P. B. M.; BRANDÃO, M. S.; CHAVES, M. H. Fenóis totais e atividade antioxidante de cinco plantas medicinais. **Química nova**, v. 30, n. 2, p. 351-355, 2007.

SOUZA, M. M. D.; OLIVEIRA, M. D. S.; ROCHA, M. D.; FURLONG, E. B. Avaliação da atividade antifúngica de extratos fenólicos de cebola, farelo de arroz e microalga *Chlorella phyrenoidosa*. **Food Science and Technology**, v. 30, n. 3, p. 680-685, 2010.



## CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DE MICROCÁPSULAS DE ÓLEO DE PEQUI OBTIDAS POR COACERVAÇÃO COMPLEXA

**Luana C. da Silva<sup>\*1</sup>, Rachel M. Castelo<sup>2</sup>, Gabrielle A. Freire<sup>2</sup>, Maria Leônia da C.  
Gonzaga<sup>3</sup>, Roselayne F. Furtado<sup>2,3</sup>, Carlucio R. Alves<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Estadual do Ceará, \*e-mail: lu\_luanacarvalho@hotmail.com.

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologias.

<sup>3</sup>Laboratório de Embalagens, Embrapa Agroindústria Tropical.

**RESUMO:** O óleo de pequi possui elevado teor de ácidos graxos insaturados e carotenoides, características que potencializam o seu uso para aplicações industriais. Devido à baixa estabilidade desses componentes, métodos de microencapsulação, podem promover proteção destes compostos, assim como controle na liberação e facilidade de armazenamento. Neste trabalho o óleo de pequi foi microencapsulado nas matrizes de goma de cajueiro e quitosana (GC/QT) e goma de cajueiro e gelatina (GC/GE). O objetivo desse trabalho foi realizar a caracterização térmica das microcápsulas de óleo pequi, por análise termogravimétrica (TGA) e de varredura diferencial de calorimetria (DSC). As microcápsulas de GC/QT apresentaram maior temperatura e entalpia de degradação do que GC/GE, podendo inferir assim que elas obtiveram melhor estabilidade térmica. Tanto as microcápsulas de GC/QT como as de GC/GE obtiveram resultados melhores do que a GC, QT e GE livres comparando com a literatura, podendo ser usados para proteger materiais termossensíveis.

**Palavras-chave:** Goma de cajueiro. Termogravimétrica. Varredura diferencial de calorimetria.

**ABSTRACT:** Pequi oil has a high content of unsaturated fatty acids and carotenoids, attractive characteristics for industrial applications. Due to the low stability of these components, microencapsulation methods can promote protection of these compounds, controlled release and storage facility. In this work, pequi oil was microencapsulated using two kind of matrices: cashew gum and chitosan (GC/QT) and cashew gum and gelatin (GC/GE). The objective of this work was to perform the thermal characterization of pequi oil microcapsules, by thermogravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC). The GC/QT microcapsules showed better thermal stability because the higher temperature and enthalpy of degradation than GC/GE. Both the GC/QT and GC/GE microcapsules achieved better results than the free GC, QT and GE compared to the literature and can be used to protect thermosensitive materials.

**Keywords:** Cashew gum. Thermogravimetric. Differential scanning calorimetry

## 1 INTRODUÇÃO

No Nordeste brasileiro, o pequi (*Caryocar coriaceum* Wittm.), é encontrado em regiões como a Chapada do Araripe (sul cearense), onde o bioma é predominantemente o Cerrado. O óleo de pequi é utilizado na indústria alimentícia, na produção de margarina (OLIVEIRA *et al.*, 2011) e queijos (BENEVIDES *et al.*, 2009) em função da excelente qualidade associada aos altos teores de ácidos graxos, predominantemente o oleico (60,6%) e palmítico (35,4%) (PESSOA *et al.*, 2015), e de carotenoides (PINTO *et al.*, 2018). Por apresentar majoritariamente ácidos graxos insaturados, que são mais propensos a oxidação lipídica frente a fatores externos, métodos como encapsulamento são adotados para prover ao óleo proteção, assim como auxiliar no controle da liberação e no armazenamento.

Polissacarídeos são bastante utilizados como material de parede para microcápsulas. A goma arábica é um dos mais empregados na indústria de alimentos, apesar do alto custo e problemas de disponibilidade. Assim, a busca por substitutos totais

ou parciais para a goma arábica tem sido incentivada (AZEREDO, 2005). Dentre os substitutos da goma arábica está a goma de cajueiro, devido as suas características físico-químicas semelhantes, e ainda por ser um co-produto da cadeia produtiva do caju, ainda de pouco valor agregado.

A coacervação complexa é uma técnica clássica de microencapsulamento com grandes vantagens, sendo um dos métodos mais utilizados para microencapsular lipídeos, possui condições de reação mais moderadas durante o processamento, baixo custo e alta eficiência de encapsulação (COMUNIAN; FAVARO-TRINDADE, 2016). O método consiste na interação entre dois polímeros de cargas opostas, formando um complexo entre esses polímeros ao redor do material ativo (núcleo), originando assim as micropartículas.

Neste trabalho foram utilizadas duas matrizes encapsulantes: goma de cajueiro/quitosana (GC/QT) e goma de cajueiro/gelatina (GC/GE). O objetivo desse trabalho foi realizar a caracterização térmica das microcápsulas de óleo pequi, produzidas por coacervação complexa e secas por liofilização, pelas análises termogravimétricas (TGA) e varredura diferencial de calorimetria (DSC).

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Material

Polissacarídeos de goma de cajueiro foi obtida do exsudato de *Anacardium occidentale* L., coletado de cajueiros do Campo Experimental de Pacajus da Embrapa Agroindústria Tropical. Para o isolamento dos polissacarídeos foi utilizada a metodologia de Torquato *et al.* (2004). A quitosana (baixo peso molecular) 75-85% desacetilada foi adquirida da Sigma-Aldrich e gelatina bovina (G) 225H tipo B foi proveniente da Rousselout®. A extração do óleo da polpa (*Caryocar coriaceum* Wittm.) foi realizada por separação física em meio aquoso, de acordo com Lima *et al.* (2019). Para ajuste do pH foram utilizadas soluções aquosas de HCl (2M) e NaOH (2M).

## 2.2 Formação das micropartículas

As microcápsulas de GC/QT foram preparadas de acordo com a metodologia descrita por Silva *et al.* (2018). Para o processo de coacervação, as emulsões foram preparadas a partir de 100 mL de QT (0,5 g) com 2 g de óleo de pequi e depois adicionados 100 mL de solução de GC (11 g) em ultra turrax por 3 min a 10.000 rpm em cada processo. Em seguida, foram adicionados 400 mL de água e homogeneizados em ultra turrax. Após o ajuste do pH para 4,5, a solução foi refrigerada (5 °C) overnight para precipitação dos coacervados. As microcápsulas de GC/GE foram obtidas pela metodologia descrita por Nascimento *et al.* (2020). Foi preparada inicialmente uma emulsão contendo a solução de GE (2 g) e 2 g de óleo de pequi, e adicionada a solução de GC (4 g) e agitado em ultra turrax por 3 min a 10.000 rpm em cada etapa. Em seguida, foi adicionado 400 mL de água e homogeneizado novamente em ultra turrax. Por fim, foi realizado o ajuste do pH para 4,5 e refrigeração (5 °C) overnight até a precipitação dos coacervados. Ao final, os coacervados foram congelados em ultrafreezer (-80 °C), liofilizados e dispersos em moinho de impacto.

## 2.3 Análises térmicas

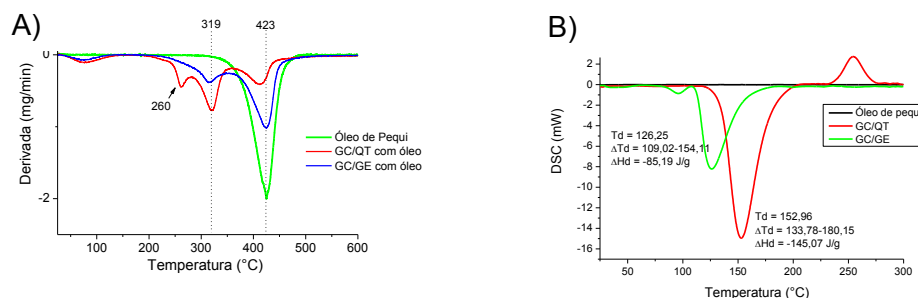
A caracterização térmica das microcápsulas de GC/QT e GC/GE e óleo de pequi foi realizada por TGA e DSC. Para análise de TGA utilizou-se o equipamento STA 6000 da PerkinElmer as amostras foram pesadas e investigadas nas faixas de temperatura de 25 a 750 °C com taxa de aquecimento de 10 °C/min e fluxo de vazão de gás nitrogênio de 20 mL/min. Para análise de DSC (Shimadzu) as amostras previamente pesadas foram submetidas a uma faixa de temperatura de 25 a 300 °C com taxa de aquecimento de 10 °C/min e fluxo de vazão de gás nitrogênio de 50 mL/min.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A perda de massa percentual das amostras durante o aquecimento é ilustrada na Figura 1A. Como mostrado, houve perda mínima de massa das microcápsulas de GC/QT e GC/GE até cerca de 150 °C, o que pode ser devido à perda de água livre na amostra. Para a amostra de GC/QT foram apresentados três picos de degradação, sendo o primeiro em 260 °C que conforme a literatura pode atribuir esse pico a degradação da quitosana (CHANG *et al.*, 2016), o segundo em 319 °C, sendo referente a goma de cajueiro, onde ocorre a degradação do polissacarídeo com formação de água (SILVA *et al.*, 2009) e pico de degradação do óleo de pequi em 450 °C. Para as microcápsulas de GC/GE apresentaram apenas um pico de degradação dos biopolímeros, indicando melhor estabilidade devido a afinidade entre as interações eletrostáticas (DE OLIVEIRA; PAULA; DE PAULA, 2014).

A Figura 1B mostra os termogramas DSC das microcápsulas GC/QT e GC/GE, e do óleo de pequi. A faixa de temperatura de desnaturação ( $\Delta T_d$ ), pico de temperatura de desnaturação ( $T_d$ ) e entalpia de desnaturação ( $\Delta H_d$ ) das microcápsulas GC/QT e GC/GE foram determinadas a partir dos termogramas. O pico de temperatura de desnaturação e entalpia de desnaturação de GC/GE ( $T_d = 126,25$  °C e  $\Delta H_d = -85,10$  J/g) foram menores do que as microcápsulas de GC/QT ( $T_d = 152,96$  °C e  $\Delta H_d = 145,07$  J/g). A temperatura de desnaturação de pico mais elevada e a entalpia de desnaturação das microcápsulas de GC/QT indicaram maior estabilidade térmica do que as microcápsulas de GC/GE. Tanto as microcápsulas de GC/QT como as de GC/GE obtiveram resultados melhores do que a GC, QT e GE livres, comparando com a literatura, que pode variar de 80 até 110 °C.

**Figura 1 – A) Derivada da perda de massa (mg/min) pelo tempo (°C) e B) Termogramas DSC das microcápsulas de GC/QT e GC/GE, e o óleo de pequi**



Fonte: Elaborado pelos autores.

#### 4 CONCLUSÕES

Pode-se concluir que as microcápsulas de óleo de pequi, obtidas por coacervação complexa, com matrizes de GC/QT e GC/GE obtiveram bons resultados de estabilidade térmica nas análises de TGA e DSC. As microcápsulas de GC/QT alcançaram melhores resultados de temperatura e entalpia de degradação, podendo assim proporcionar melhor estabilidade para ativos termossensíveis utilizados na indústria alimentícia.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Ao laboratório de Termoanálise, Departamento de Química da Universidade Federal do Ceará, pela realização da análise de DSC.

#### 6 REFERÊNCIAS

AZEREDO, H. M. C. Encapsulação: aplicação à tecnologia de alimentos. **Alimentos e Nutrição Araraquara**, v. 16, n. 1, p. 89-97, 2005.

BENEVIDES, S. D.; SANTOS, K. O.; EGITO, A. S.; VIEIRA, A. D. S.; LAGUNA, L. E.; BURITI, F. C. A. Processamento de Queijo de Coalho de Leite de Cabra Adicionado de Óleo de Pequi. **Comunicado Técnico**, v. 103, p. 1-6, 2009.

CHANG, P. G.; GUPTA, R.; TIMILSENA, Y. P.; ADHIKARI, B. Optimisation of the complex coacervation between canola protein isolate and chitosan. **Journal of Food Engineering**, v. 191, p. 58-66, 2016.

COMUNIAN, T. A.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Microencapsulation using biopolymers as an alternative to produce food enhanced with phytosterols and omega-3 fatty acids: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 61, p. 442-57, 2016.

LIMA, A. C.; BARROS, M. E. S.; SOUZA, A. C. R. de, LIMA, A. C.; ARAÚJO, I. M. da S.; MAGALHÃES, H. C. R.; PACHECO, G. M. Obtenção do Óleo da Polpa de Pequi por Separação Física Utilizando-se Centrifugação. **Comunicado Técnico**, v. 254, p.1-6, 2019.

NASCIMENTO, M. A.; SILVA, L. C.; MENDES, L. G.; FURTADO, R. F.; COSTA, J. M. C.; BISWAS, A.; CHENG, H. N.; ALVES, C. R. Pequi oil microencapsulation by complex coacervation using gelatin-cashew gum. **International Journal of Food Studies**, v. 9, p. 197-109, 2020.

DE OLIVEIRA, E. F.; PAULA H. C. B.; DE PAULA, R. C.M. Alginate/cashew gum nanoparticles for essential oil encapsulation. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 113, p. 146-151, 2014.

OLIVEIRA, E. N. A.; SANTOS, D. C.; MARTINS, J. N.; BEZERRA, L. C. N. M. Obtenção e caracterização de margarina convencional e light à base de óleo de pequi. **Boletim do Centro de Pesquisa Processamento de Alimentos**, v. 29, n. 2, p. 294-304, 2011.

PESSOA, A. S.; PODESTÁ, R.; BLOCK, J. M.; FRANCESCHI, E.; DARIVA, C.; LANZA, M. Extraction of pequi (*Caryocar coriaceum*) pulp oil using subcritical propane: Determination of process yield and fatty acid profile. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 101, p. 95-103, 2015.

PINTO, M. R. M. R.; PAULA, D. A.; ALVES, A. I.; RODRIGUES, M. Z.; VIEIRA, É. N. R.; FONTES, E. A. F.; RAMOS A. M. Encapsulation of carotenoid extracts from pequi (*Caryocar brasiliense* Camb) by emulsification (O/W) and foam-mat drying. **Powder Technology**, v. 339, p. 939-46, 2018.

SILVA, D. A.; FEITOSA, J. P. A.; PAULA, H. C. B.; PAULA, R. C. M. Synthesis and characterization of cashew gum/acrylic acid nanoparticles. **Materials Science and Engineering C**, v. 29, p. 437-441, 2009.

SILVA, L. C.; NASCIMENTO, M. A.; MENDES, L. G.; FURTADO, R. F.; COSTA, J. M. C.; CARDOSO, A. L. H. Optimization of cashew gum and chitosan for microencapsulation of pequi oil by complex coacervation. **Journal of Food Process and Preservation**, v.42, n. 3, p. 1-8, 2018.



TORQUATO, D. S.; FERREIRA, M. L.; SÁ, G. C.; BRITO, E. S.; PINTO, G. A. S.; AZEVEDO, E. H. F. Evaluation of antimicrobial activity of cashew tree gum. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 20, n. 5, p. 505–507, 2004.



**COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DA POLPA DOS FRUTOS DE *MAURITIA FLEXUOSA*  
L. F. DO CARIRI CEARENSE**

**Carla de Fatima A. Nonato\*<sup>1</sup>, Cicera J. Camilo<sup>1</sup>, Débora O. D. Leite<sup>1</sup>, Jairo F. da Silva Neto<sup>2</sup>, Lucas R. Costa<sup>2</sup>, José G. M. da Costa<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Regional do Cariri, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Laboratório de Pesquisa de Produtos Naturais, \*e-mail: carlaalvesbio@hotmail.com.

<sup>2</sup>Faculdade de Odontologia, Centro Universitário Dr. Leão Sampaio.

**RESUMO:** O conhecimento sobre a composição de alimentos regionais é de suma importância para a orientação nutricional da população. Os frutos de *Mauritia flexuosa* L. f. são fonte alimentar que vem gerando interesse devido sua composição química e farmacológica. O objetivo desse estudo foi caracterizar a composição centesimal dos frutos de *M. flexuosa* do Cariri cearense. Sua polpa foi submetida às análises de umidade, acidez total, pH, proteínas, glicídios redutores e não redutores, cinzas, lipídios e vitamina C. Todas as análises realizadas foram em triplicata, sendo determinadas a média e desvio-padrão. A polpa apresentou teores de 21,68% de umidade, 12,29% de acidez total, 3,84 de pH, 58,48% de proteínas, glicídios redutores e não redutores de 39,10% e 8,40%, respectivamente, bem como valores de 3,82% de cinzas, 5,91% de lipídios e 60,63 mg/100g de vitamina C. Assim, pelo seu teor nutricional, o consumo do fruto do buriti pode ser encorajado, tanto no aproveitamento industrial como em enriquecimento de produtos.

**Palavras-chave:** Buriti. Polpa. Composição centesimal.

**ABSTRACT:** Knowledge about the composition of regional foods is of paramount importance for the nutritional orientation of the population. The fruits of *Mauritia flexuosa* L. f. have been generating interest due to their chemical and pharmacological

composition. The objective of this study was to characterize the centesimal composition of *M. flexuosa* fruits from the Cariri cearense. Its pulp was analyzed to determine humidity, total acidity, pH, proteins, reducing and non-reducing glycid, ashes, lipids and vitamin C. All analyzes were carried out in triplicate, with the mean and standard deviation being determined. The pulp showed contents of 21.68% moisture, 12.29% total acidity, 3.84 pH, 58.48% proteins, 39.10% and 8.40% reducers and non-reducers, respectively, as well as values of 3.82% ashes, 5.91% lipids and 60.63 mg / 100 g of vitamin C. Thus, due to its nutritional content, the consumption of buriti fruit can be encouraged, both in industrial use as in product enrichment.

**Keywords:** Buriti. Pulp. Centesimal composition.

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil detém grande número de espécies frutíferas exóticas e nativas que ainda são pouco exploradas, embora possuam potencial para a agroindústria e são possível fonte de renda futura para a população local. O consumo das frutas tropicais aumenta gradativamente nos mercados domésticos e internacionais devido ao crescente reconhecimento de seu valor nutricional e terapêutico (RUFINO *et al.*, 2010). O conhecimento sobre a composição destes alimentos consumidos é de suma importância para a orientação nutricional baseadas em elementos de desenvolvimento local e diversificação da alimentação, que vão de contrapartida à massificação de dietas monótonas e desequilibradas (TACO, 2011).

Dentro desse contexto está inserido o fruto de *Mauritia flexuosa* L. f., uma palmeira tropical, conhecida popularmente como buriti, com alto valor ecológico, cultural e econômico (KOOLEN *et al.*, 2013). Seus frutos se caracterizam como drupa globoso-alongada com epicarpo formado de escamas de cor castanho-avermelhada, mesocarpo formado por uma massa espessa de cor alaranjada e endocarpo esponjoso envolvendo a semente muito dura (LORENZI *et al.*, 2006). Como fonte alimentar, estes são usados

*in natura* ou na forma de sucos, vinhos fermentados, doce, bolos, geleias, dentre outros (SAMPAIO; CARAZZA, 2012). Assim, este trabalho teve como objetivo caracterizar a composição centesimal dos frutos de *M. flexuosa* do Cariri cearense.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os frutos maduros do buriti (287 g) foram coletados na APA da Chapada do Araripe, no município de Crato, Ceará, Brasil, sendo estes submetidos ao processo de despulpamento manual. Uma exsicata foi depositada no Herbário Caririense Dárdano de Andrade-Lima – HCDAL/URCA sob o número de registro 12620. Todas as análises seguiram a metodologia proposta pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), sendo realizadas em triplicata.

A acidez total foi determinada por titulação utilizando uma solução de hidróxido de sódio (NaOH 0,1 M, fator= 0,97) até uma coloração rosa constante por 30 segundos. O pH foi determinado pelo método potenciométrico, onde a leitura foi realizada através de um peagâmetro digital previamente calibrado. A umidade foi medida pelo método de secagem em estufa através da perda de peso da amostra aquecida a  $105 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ , até peso constante. As cinzas foram obtidas pelo aquecimento da amostra em temperatura próxima a  $550 \text{ }^\circ\text{C}$  para a eliminação da matéria orgânica volátil.

Os glicídios redutores em glicose e não redutores em sacarose, após redução acida, foram mensurados através do método de redução utilizando o reagente Fehling. As proteínas foram determinadas pelo método de Kjeldahl, pela conversão de nitrogênio em proteína utilizando um fator de conversão de 6,25. Os lipídios totais foram mensurados através de extração contínua em um aparelho Soxhlet, usando éter etílico como solvente sob refluxo.

A vitamina C foi mensurada através do método por redução de íons cúpricos (CONTRERAS-GUSMÁN *et al*, 1984), onde a leitura foi realizada em espectrofotômetro a 545 nm. Utilizou-se padrão de ácido ascórbico para curva analítica e todo o ensaio foi feito em ambiente escuro.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados obtidos da composição da polpa encontram-se dispostos na Tabela 1. Pode-se observar baixo valor de umidade (21,68%), quando comparado aos frutos de indivíduos do Acre, Mato Grosso e Piauí, que variam de 48,11%, 59,69% e 54,35%, respectivamente (CARNEIRO; CARNEIRO, 2011; MESQUITA *et al.*, 2014; SANDRI *et al.*, 2017). Essa variação do teor de umidade pode estar relacionada ao período de coleta ou condições climáticas a que esses frutos estavam expostos (CICONINI, 2011; TANGO; CARVALHO; SOARES, 2004). O teor de cinzas exibido (3,82%) foi próximo ao obtido por Mesquita *et al.* (2014) de 2,31% e um pouco acima do obtido por Sandri *et al.* (2017) de 1,04%.

**Tabela 1 - Composição centesimal da polpa *in natura* dos frutos de *Mauritia flexuosa***

Constituintes*	Polpa <i>in natura</i>
Acidez (%)	12,29±0,62
Cinzas (%)	3,82±0,03
Glicídios não redutores em sacarose (%)	8,40±0,31
Glicídios redutores em glicose (%)	39,10±3,01
Lipídios (%)	5,91±0,00
pH	3,84±0,01
Proteínas (%)	58,48±27,86
Umidade (%)	21,68±1,15
Vitamina C (mg/100g)	60,63±0,79

\*Os dados apresentados estão representados por média ± desvio padrão (SD).

O pH obtido (3,84) apresentou valor semelhante ao encontrado por Sandri *et al.* (2017) de 3,78±0,04. Quanto a acidez total, o buriti exibiu percentual elevado (12,29%) em relação a macaúba (*Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. ex Mart) com percentual de

0,73% (SANJINEZ-ARGANDOÑA; CHUBA, 2011), o que demonstra uma resistência maior de sua polpa a deterioração causada por microrganismos (AROUCHA *et al.*, 2010).

O valor expresso para proteínas (58,48%) foi mais elevado do que os relatados na literatura, que variaram de 1,30% a 11,42% (CARNEIRO; CARNEIRO, 2011; MESQUITA *et al.*, 2014; SANDRI *et al.*, 2017). A polpa apresentou índice superior de açúcares redutores (39,10%) quando comparado ao de não-redutores (8,40%), o que corrobora com a maioria dos frutos que apresentam teor de açúcar não-redutor menor que o anterior (BAMPI *et al.*, 2010).

O percentual de lipídios obtido (5,91%) foi pequeno comparado aos relatados por Mesquita *et al.* (2014) de 23,55% e por Carneiro e Carneiro (2011) de 18,16%. A discrepância dos resultados obtidos com a literatura pode estar relacionada há possível desidratação de frutas durante os estágios de transporte e armazenamento, bem como a aspectos metodológicos não equiparáveis (SANDRI *et al.*, 2017).

A vitamina C é um nutriente hidrossolúvel envolvido na proteção contra a peroxidação lipídica, eliminando os radicais peróxido antes que eles iniciem o processo de peroxidação, e ainda, regenerando a forma ativa da vitamina E, e de outros antioxidantes como os flavonoides e a glutatona (FERREIRA *et al.*, 2010). O teor desta vitamina (60,63 mg/100g) na polpa em estudo foi maior do que os percentuais obtidos também para o buriti de 49,67 mg/100g e para o coquinho (*Butia capitata* Becc.) de 43 mg/100g (SANDRI *et al.*, 2017; GENOVESE *et al.*, 2008).

#### 4 CONCLUSÕES

A polpa do buriti obtida no Cariri cearense apresentou altos teores de proteína e carboidratos, podendo ser incorporado nas dietas de indivíduos com baixo peso devido seu possível teor calórico elevado. Além disso, seu teor de vitamina C atende a necessidade dos consumidores que buscam frutos ricos em antioxidantes. Assim, pelo seu teor nutricional, o consumo do fruto do buriti deve ser encorajado, bem como seu uso no aproveitamento industrial ou enriquecimento de produtos.

## 5 AGRADECIMENTOS

A CAPES, CNPq, FUNCAP e URCA, pelo apoio e financiamento.

## 6 REFERÊNCIAS

AROUCHA, E. M. M.; GOIS, V. A.; LEITE, R. H. L.; SANTOS, M. C. A.; SOUZA, M. S. Acidez em frutas e hortaliças. **Revista Verde**, v. 5, n. 2, p. 1–4, 2010.

BAMPI, M.; BICUDO, M. O. P.; FONTOURA, P. S. G.; RIBANI, R. H. Composição centesimal do fruto, extrato concentrado e da farinha da uva-do-japão. **Ciência Rural**, v. 40, n. 11, p. 2361–2367, 2010.

CARNEIRO, T. B.; CARNEIRO, J. G. M. Frutos e polpa desidratada buriti (*Mauritia flexuosa* L.): aspectos físicos, químicos e tecnológicos. **Revista Verde**, v. 6, n. 2, p. 105–111, 2011.

CICONINI, Gabrielly. **Caracterização de frutos e óleo de polpa de macaúba dos biomas Cerrado e Pantanal do estado de Mato Grosso do Sul**. 2011. 128 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia, Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2011.

CONTRERAS-GUZMÁN, E.; STRONG III, F. C.; GUERNELLI, O. Determinação de ácido ascórbico (vitamina C), por redução de ions cúpricos. **Química Nova**, v. 7, n. 2, p. 60–64, 1984.

FERREIRA, R. M. A.; FERNANDES, P. L. O.; FONTES, L. O.; RODRIGUES, A. P. M. S.; SILVA, L. T. Antioxidantes e sua importância na alimentação. **Revista Verde**, v. 5, n. 5, p. 26–30, 2010.

GENOVESE, M. I.; PINTO, M. S.; GONÇALVES, A. E. S. S.; LAJOLO, F. M. Bioactive compounds and antioxidant capacity of exotic fruits and commercial frozen pulps from Brazil. **Food Science and Technology International**, v. 14, n. 3, p. 207–214, 2008.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4 ed. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

KOOLEN, H. H. F.; SILVA, F. M. A.; GOZZO, F. C.; SOUZA, A. Q. L.; SOUZA, A. D. L. Antioxidant, antimicrobial activities and characterization of phenolic compounds from buriti (*Mauritia flexuosa* L. f.) by UPLC-ESI-MS/MS. **Food Research International**, v. 51, n. 2, p. 467–473, 2013.

LORENZI, H.; BACHER, L. B.; LACERDA, M. T. C.; SARTORI, S. F. **Frutas Brasileiras e Exóticas Cultivadas**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2006. 640 p.

MESQUITA, F. R.; LIMA, M. O.; ARAÚJO, J. M.; RIBEIRO, O. A. S.; CRAVEIRO, R. L. Composição centesimal de frutos típicos da região do Vale Juruá - Amazônia ocidental. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 19, p. 2849–2857, 2014.

RUFINO, M. S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.; MANCINI-FILHO, J. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996–1002, 2010.

SAMPAIO, M. B.; CARAZZA, L. R. **Aproveitamento Integral do Fruto e da Folha do Buriti (*Mauritia flexuosa*)**. Brasília-DF: Instituto Sociedade, População e Natureza, 2012. 76 p.

SANDRI, D. O.; XISTO, A. L. R. P.; RODRIGUES, E. C.; MORAIS, E. C.; BARROS, W. M. Antioxidant activity and physicochemical characteristics of buriti pulp (*Mauritia flexuosa*) collected in the city of Diamantino – MTS. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 39, n. 3, p. 1–6, 2017.

SANJINEZ-ARGANDOÑA, E. J.; CHUBA, C. A. M. Caracterização biométrica, física e química de frutos da palmeira bocaiuva *Acrocomia aculeata* (Jacq) Lodd. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. 3, p. 1023–1028, 2011.

TACO. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. 4 ed. Campinas: NEPA - Unicamp, 2011. 161 p.

TANGO, J. S.; CARVALHO, C. R. L.; SOARES, N. B. Caracterização física e química de frutos de abacate visando a seu potencial para extração de óleo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 1, p. 17–23, 2004.

## METAIS PESADOS COMO CONTAMINANTES QUÍMICOS ALIMENTARES: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

Renata C. de Assis<sup>\*1</sup>, Carla S. C. Maia<sup>2</sup>, Carlucio R. Alves<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências da Saúde/Nutrição, \*e-mail: renata.carmo.assis@gmail.com.

<sup>2</sup>Programa de Pós-Graduação em Nutrição e Saúde, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências da Saúde/Nutrição.

<sup>3</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia/Química.

**RESUMO:** A intoxicação alimentar decorrente do consumo de alimentos por elementos químicos tóxicos é um problema global. O objetivo foi realizar um levantamento bibliográfico com estudos nutricionais avaliando os níveis de intoxicação por metais pesados em alimentos contaminados. Consistiu numa revisão integrativa baseado em seis etapas, nas bases de dados Pubmed, Lilacs, Scielo e Medline, com as palavras chaves “nutritional studies, dietetic manipulation, food consumption, mercury, tin, arsenic, lead e cadmium”. Foram encontrados 45 artigos e ao final da pesquisa, 7 artigos foram analisados. Os estudos foram realizados em 6 países diferentes, sendo apenas 1 em crianças. Foram encontradas concentrações de 4,6 µg/L de mercúrio no sangue em homens. Existindo uma correlação positiva entre consumo de vísceras e concentrações de cádmio sanguíneo em fumantes. Para o arsênio detectou concentrações urinárias de 97,5 µg/L. O Hg induz a hipertensão e doenças cardiovasculares. O Cd pode ser associada à carcinogênese em diversos órgãos. A exposição ao Pb pode ser prejudicial para a saúde e causar efeitos ao longo da vida. O As pode causar doenças cutâneas, gastrointestinais e vasculares.

**Palavras-chave:** Mercúrio. Cádmio. Arsênio.



**ABSTRACT:** Food poisoning from the consumption of food by toxic chemicals is a global problem. The objective was to carry out a literature survey with nutritional studies evaluating the levels of heavy metal intoxication in contaminated foods. It consisted of an integrative review based on six stages, in the Pubmed, Lilacs, Scielo and Medline databases, with the key words "nutritional studies, dietetic manipulation, food consumption, mercury, tin, arsenic, lead and cadmium". 45 articles were found and at the end of the research, 7 articles were analyzed. The studies were carried out in 6 different countries, with only 1 in children. Concentrations of 4.6  $\mu\text{g/L}$  of mercury in blood were found in men. There was a positive correlation between gut consumption and blood cadmium concentrations in smokers. For arsenic it detected urinary concentrations of 97.5  $\mu\text{g/L}$ . Hg induces hypertension and cardiovascular diseases. Cd can be associated with carcinogenesis in several organs. Exposure to Pb can be harmful to health and cause lifelong effects. As can cause skin, gastrointestinal and vascular diseases.

**Keywords:** Mercury. Cadmium. Arsenic.

## 1 INTRODUÇÃO

A intoxicação alimentar resultante da ingestão de alimentos contaminados com poluentes químicos representa um problema global e um desafio significativo para a saúde pública (GARVEY, 2019). Os sistemas alimentares são afetados pela escassez de recursos naturais, degradação do ecossistema e alterações climáticas, podendo interferir negativamente na segurança alimentar e nutricional da população (BILALI *et al.*, 2018).

Em concentrações específicas, alguns metais são essenciais para a saúde humana, como por exemplo o ferro e o cobre, já outros são tóxicos a qualquer nível de concentração, por exemplo, chumbo e cádmio (MERIAN, 1984). Tais metais (e também os metaloides) são quimicamente muito reativos e bioacumuláveis, ou seja, os organismos não são capazes de eliminá-los.

A sazonalidade da poluição pode ser um fator relevante nas concentrações de metais pesados na água, sedimentos e na carne de pescados. Assim, torna-se cada vez mais evidente que a industrialização e outras atividades do ser humano têm causado a deterioração do ecossistema que entrará diretamente na cadeia alimentar e irá afetar a saúde humana (RAJESHKUMAR *et al.*, 2018). Consequências cardiovasculares em populações expostas a metais pesados podem ocorrer principalmente em áreas com catástrofes naturais. Isso porque níveis crescentes desses metais no sangue estão associados ao aumento de colesterol total e colesterol-LDL (BUHARI *et al.*, 2008).

O monitoramento contínuo e medidas de intervenção para garantir que a qualidade dos alimentos e da água são importantes para que se possa atender aos padrões estabelecidos e proteger a saúde da população (NGOC *et al.*, 2020). Os padrões aceitáveis de contaminação são comumente estabelecidos pelos órgãos competentes de saúde de cada país. Na América do Sul, a resolução RDC Nº 42, dispõe sobre o Regulamento Técnico MERCOSUL apresentando limites máximos de contaminantes inorgânicos em alimentos, com discriminação específica para os metais arsênio, mercúrio, chumbo, cádmio e estanho (BRASIL, 2013).

Já na Europa, métodos de padronização são constantemente utilizados para identificar concentrações anormais de metais pesados no solo. Em estudo de Guzman-Morales e colaboradores, classificou-se o solo como fortemente contaminado, que é a última e mais séria classificação que possui a normalização local. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi realizar um levantamento bibliográfico com estudos nutricionais avaliando os níveis de intoxicação por arsênio, mercúrio, chumbo, estanho e cádmio através do consumo de alimentos.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Como preconiza a metodologia de revisão integrativa, foram sumarizadas pesquisas para a partir delas obter conclusões gerais. Seguiu-se as seguintes etapas básicas: (1) elaboração da pergunta norteadora, (2) busca ou amostragem na literatura,

3) coleta de dados, (4) análise crítica dos estudos incluídos, (5) discussão dos resultados, (6) apresentação da revisão integrativa (SOUZA *et al.*, 2010).

Na 1ª etapa partiu-se de uma pergunta norteadora envolvendo a intoxicação em componentes alimentares, especialmente em metais como arsênio (As), mercúrio (Hg), chumbo (Pb), estanho (Sn) e cádmio (Cd). Com isso, o que os estudos prévios apresentam de evidências em trabalhos nutricionais sobre a contaminação de alimentos por metais pesados?

Para 2ª etapa foi dado o início a busca na literatura, com a utilização de artigos científicos sobre os estudos que relacionavam os níveis de contaminação provocados por metais pesados em alimentos. Os termos de pesquisa foram obtidos por meio de consulta de Descritores em Ciências da Saúde. Utilizou-se na busca dos trabalhos os descritores “nutritional studies”, “dietetic manipulation”, “food consumption”, “mercury”, “tin”, “arsenic”, “lead” e “cadmium”. Foram selecionados artigos originais nos idiomas inglês, português e espanhol, pesquisados na PubMed e na Biblioteca Virtual de Saúde disponibilizados pela base de dados Medline, Lilacs e Scielo, no período de 2010 a 2020. Foram excluídas as resenhas, atas de congresso, revisões sistemáticas, bem como artigos que não se enquadravam na temática exposta. Realizou-se a leitura do título e do resumo, para uma posterior leitura completa dos artigos selecionados.

A 3ª etapa consistiu em esquematizar a coleta de dados a fim de preparar todo o processo de busca e a partir disso, visualizar quantos estudos foram incluídos. Na 4ª etapa elaborou-se uma tabela contendo informações de autores e ano dos estudos, metais, grupos estudados, instrumentos de coleta e considerações finais. E nas 5ª e 6ª etapas foram apresentadas informações relevantes apresentaram-se de modo descritivo, com a análise e síntese dos resultados, as análises críticas de cada amostra e as conclusões prévias obtidas de cada leitura.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Depois da realização da busca nas bases de dados foram identificados 45 artigos. Passando-se pela triagem inicial foram excluídos 2 artigos duplicados e 32 artigos por serem revisões, resumos de congresso ou não se enquadraram com o assunto abordado. Permanecendo 11 artigos elegíveis para a leitura por completo, que ao final foram incluídos 6 artigos para compor a revisão integrativa. Os resultados mais relevantes encontram-se na Tabela 1.

Foram encontrados três estudos abordando o mercúrio; um em adultos finlandeses, o segundo em crianças espanholas e o terceiro em adultos chineses. Airaksinen *et al.* (2010), mostram que as maiores concentrações de Hg estão presentes no sangue dos homens na faixa etária de 21 a 59 anos (4,6 µg/L) e em idosos (4,5 µg/L) e Perez *et al.* (2017) mostra concentrações de Hg de 0,87-1,31 µg/g em crianças. De acordo com valores de referências estabelecidos em países europeus para adultos e crianças, os indivíduos desses estudos apresentam níveis elevados de toxicidade (SCHULZ *et al.*, 2012; CERNÁ *et al.*, 2012).

Embora as análises de cabelo humano indicaram concentrações de Hg de  $1,08 \pm 0,94$  µg/g (CHAO *et al.*, 2013), onde 39,6% da população estudada excedeu a norma de segurança de 1 µg/kg de peso corporal, correspondente para a dose de referência (RfD) (USEPA, 1997), essa quantidade de metal pode ser fortemente aumentada, dependendo do consumo alimentar dos indivíduos como demonstrado por Salehi *et al.* (2010) mostraram que 87,92% da população iraniana excedeu o padrão de segurança de concentrações de Hg nos cabelos, com uma forte frequência de consumo de pescados.

Vários órgãos corporais são afetados pelo Hg sob diferentes formas. A avaliação das consequências da toxicidade do metal tem contribuído para a compreensão de seu impacto humano. Os efeitos do Hg incluem a interferência no desenvolvimento neurológico, endócrino, reprodutivo e embrionário (SATURDAY, 2018).

A ingestão de Hg pode ocorrer por diferentes vias (ar, água, alimentos,

vacinas, fármacos e cosméticos), sendo o risco aumentado em dietas baseadas no consumo com peixe. O Hg e metilmercúrio (MeHg,  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ ) induzem disfunções mitocondriais, diminuem a síntese de ATP e aumenta a peroxidação de fosfolípidos. O Hg induz o aumento do estresse oxidativo e está fortemente correlacionada com a hipertensão e doenças cardiovasculares. A toxicidade do metal pode ser antagonizada pelo consumo de selênio (Se) e peixes rico em ômega-3, devido ao seu efeito protetor (GENCHI *et al.*, 2017).

**Tabela 1 - Descrições para contaminantes metálicos em seres humanos**

<b>Autor Ano</b>	<b>Metais Pesados</b>	<b>Grupo Estudado</b>	<b>Instrumentos de Coleta</b>	<b>Considerações Finais</b>
Airaksin <i>et al.</i> (2010)	MeHg	Pescadores e familiares da Finlândia	-Consumo alimentar -Sangue	O MeHg pode ser encontrado em outras fontes alimentares, além do peixe.
Madeddu <i>et al.</i> (2011)	Cd	Adultos italianos	-Consumo alimentar -Sangue	O tabagismo, o consumo de vísceras e o IMC são fatores de risco para a concentração de Cd no sangue.
Osada <i>et al.</i> (2011)	Cd	Mulheres adultas no Japão	-Consumo de arroz -Sangue -Urina -Ultrassom óssea	Pode ocorrer desordem metabólica óssea induzida pela exposição ao Cd de baixo grau ambiental.
Shao <i>et al.</i> (2013)	Hg MeHg	Adultos chineses	-Consumo alimentar -Cabelo	O consumo de peixe e cereais e o fumo foram as principais vias de exposição ao Hg.
Bae <i>et al.</i> (2016)	As	Adultos coreanos	-Consumo alimentar -Urina	O consumo de frutos do mar pode contribuir para os níveis urinários de As aumentados em adultos.

Pérez <i>et al.</i> (2017)	As, Cd, Pb e Hg	Crianças espanholas	-Consumo alimentar -Urina	Os níveis de concentração de cada metal estava diretamente relacionado com o consumo alimentar de cada criança.
----------------------------	-----------------	---------------------	------------------------------	---

MeHg (Metilmercúrio); IMC (Índice de Massa Corporal)

Três estudos avaliaram Cd e estes mostram que a concentração média sérica foi de 1,57 µg/L (OSADA *et al.*, 2011), encontrando-se dentro dos valores de referências estabelecidos na Coreia (SON *et al.*, 2009). Quando se avalia a concentração média deste metal na urina encontrou-se 1,93 µg/g de creatinina (OSADA *et al.*, 2011), constatando-se uma intoxicação levando-se em consideração os valores de referência de 0,80 µg/L para cádmio na urina em adultos (WILHELM *et al.*, 2007). Valores deste metal na urina de criança são encontrados em 0,21 µg/g (PEREZ *et al.*, 2017).

Madeddu *et al.* (2010) mostraram que existe uma correlação positiva entre o consumo de vísceras com as concentrações de Cd sanguíneo em não-fumantes. Relata também que essas concentrações são significativamente maiores em fumantes e na faixa etária de 18-40 anos. Já o consumo de cálcio pode agir como um fator protetor, pois apresenta uma correlação negativa com as concentrações de Cd sanguíneo.

A exposição humana ao Cd pode ocorrer através da alimentação, da água e da inalação da fumaça de cigarros. Uma vez absorvido, o Cd é eficientemente retido no corpo humano, onde se acumula ao longo da vida. A exposição crônica ao metal em seres humanos pode ser associada à carcinogênese no pulmão, próstata, rins, mama, bexiga urinária, nasofaringe, pâncreas e sistema hematopoiético.

O Cd induz o estresse oxidativo e as espécies reativas de oxigênio (ROS), que são normalmente equilibrados por fatores enzimáticos (Superóxido Dismutase - SOD, Catalase - CAT, Glutathione Peroxidase - GPx) e não enzimáticos (Somatotropina - GSH, vitamina C, vitamina E) agindo como barreiras antioxidantes (GENCHI *et al.*, 2020).

De acordo com o Painel sobre contaminantes na Cadeia Alimentar dos Relatórios da Autoridade Europeia para a Segurança Alimentar, o consumo semanal tolerável de Cd é de 2,5 µg/kg de peso corporal, sendo tolerável 25 µg/kg de peso corporal

por mês (EFSA, 2011).

Apenas um artigo elegível estudou o Pb, apresentando concentrações sanguíneas de 1,37  $\mu\text{g/g}$  em crianças (PEREZ *et al.*, 2017). A exposição ao Pb é comum e pode ser prejudicial para a saúde e causar efeitos ao longo da vida, é importante identificar as pessoas expostas e tomar as medidas preventivas e de mitigação necessárias o mais rápido possível. A medição da concentração de Pb no sangue é o mais amplo método para identificar a exposição a esse metal e essa identificação é importante para a saúde pública, a saúde ocupacional e a gestão clínica de envenenamento por chumbo (WHO, 2020).

Outros dois artigos avaliaram a concentração total de As urinário. Em Bae *et al.* (2016) foram apresentados valores de 97,5  $\mu\text{g/L}$ , com valores mais elevados em homens, na faixa etária de 19-39 anos, e nos grupos de nível de escolaridade menor. Já em crianças o As foi de 45,21-88,53  $\mu\text{g/g}$  de creatinina ajustada (PEREZ *et al.*, 2017).

O As se encontra distribuído no ambiente, estando presente no abastecimento por meio de produtos naturais e processos antropomórficos como resíduos minerais, cinzas de carvão fumaça pulverizados, água contaminada, fertilizantes e aplicação de pesticidas (PUNSHON *et al.*, 2017).

As populações são expostas a níveis elevados de As na dieta por meio da ingestão de alimentos que já possuem índices elevados do metal ou pelo consumo de alimentos com níveis de As relativamente baixos que estão sendo consumidos de forma frequente ou em grandes quantidades (CUBADDA *et al.*, 2017).

Um Questionário de Frequência Alimentar (QFA) foi utilizado para avaliar o consumo de alimentos dos indivíduos avaliados nos seis estudos, com recordatórios que continham questionamentos sobre a frequência de consumo e quais os alimentos consumidos para posterior análise da relação de alimentos e níveis de metais pesados na urina, no sangue e no cabelo.

Airasesinem *et al.* (2010) aplicaram um questionário referente ao consumo de diferentes peixes, constatando que existe uma alta associação entre o consumo de peixes e os altos níveis de MeHg encontrados nas análises de sangue. Outro estudo com

análise de sangue identificou que a relação entre a frequência no consumo de alimentos e níveis de Cd no sangue (MADEDDU *et al.*, 2011). Bae *et al.* (2016), aplicaram QFA em adultos coreanos, 72 horas antes da coleta de urina, e foi constatado que o consumo de carnes, vegetais, leite e ovo e, principalmente, os alimentos provenientes do mar contribuíram para os níveis elevados de As encontrados na urina do grupo estudado.

Embora um estudo tenha optado para analisar Cd em amostras de sangue venoso por espectrômetro de absorção atômica com forno de grafite (MADEDDU *et al.*, 2011) e outro estudo analisar Hg por um analisador direto (SHAO *et al.*, 2013), a maioria dos estudos que analisaram Cd, As, Pb e Hg na urina e no sangue fizeram uso da espectrometria de massa de plasma acoplado indutivamente (ICP-MS) (OSADA *et al.*, 2011; PEREZ *et al.*, 2017; BAE *et al.*, 2017; AIRAKSINEN *et al.*, 2011). Demonstrando a importância da escolha dos métodos, sem contar com os cuidados prévios que devem existir durante a coleta e nas análises das amostras em laboratório (NEW YORK STATE DEPARTMENT OF HEALTH CLINICAL LABORATORY EVALUATION PROGRAM, 2016).

O sangue e o cabelo podem ser indicadores biológicos adequados do status de oligoelementos essenciais e tóxicos (PAPADOMICHELAKIS *et al.*, 2019), podendo ser fortemente usado como instrumento de pesquisa e intervenção na saúde pública. Os metais pesados induzem disfunções fisiológicas, bioquímicas e comportamentais por meio do estresse oxidativo, o que leva à patogênese de doenças (JAN *et al.*, 2015).

#### 4 CONCLUSÕES

O consumo de alimentos contaminados com metais pesados está fortemente relacionado com a gênese de diversas patologias no homem. Os biomarcadores sanguíneos, urina e cabelo devem ser usados como sinalizadores de consumo de alimentos contaminados e devem estar correlacionados com os alimentos, solo, ar, água e tabagismo. Fatores enzimáticos e não enzimáticos de equilíbrio ao estresse oxidativo são antagonistas aos efeitos da toxicidade de alguns metais pesados.



## 5 AGRADECIMENTO

À Universidade Estadual do Ceará, CNPq, FUNCAP, CAPES e FINEP.

## 6 REFERÊNCIAS

AIRAKSINEN, R.; TURUNEN, A. W.; RANTAKOKKO, P.; MANNISTO, S.; VARTIAINEN, T.; VERKASALO, P. K. Blood concentration of methylmercury in relation to food consumption. **Public Health Nutrition**, v. 14, n. 3, p. 480–489, 2010.

BAE, H. S.; KANG, I. G.; LEE, S. G.; EOM, S. Y.; KIM, Y. D.; OH, S. Y.; KWON, H. J.; PARK, K. S.; KIM, H.; CHOI, B. S.; YU, I. J.; PARK, J. D. Arsenic exposure and seafood intake in Korean adults. **Human and Experimental Toxicology**, v. 36, n. 5, p.451-460, 2016.

BUHARI, O. A.; ATANDA, A. C.; MEDHANE, F.; FAILLACE, R. T. Abstract 16885: Exposure to Heavy Metals Increases Cardiovascular Risk by Elevation of Serum Lipid Levels- a National Health and Nutrition Examination Survey Based Study. **Circulation**, v. 138, n.1, p. A16885-A16885, 2018.

CERNÁ, M.; KRŠKOVÁ, A.; CEJCHANOVÁ, M.; SPEVÁČKOVÁ, V. Human biomonitoring in the Czech Republic: an overview. **International journal of hygiene and environmental health**, v. 215, n. 2, p. 109-19, 2012.

CUBADDA, F.; JACKSON, B. P.; COTTINGHAM, K. L.; VAN HORNE, Y. O.; KURZIUS-SPENCER, M. Human exposure to dietary inorganic arsenic and other arsenic species: State of knowledge, gaps and uncertainties. **Science of the total environment**, v. 579, p. 1228-1239, 2017.

EFSA - EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM); Scientific Opinion on tolerable weekly intake for cadmium. **EFSA J Journal**, v. 9, p. 1975-93, 2011.

GARVEY, M. Food pollution: a comprehensive review of chemical and biological sources of food contamination and impact on human health. **Nutrire**, v. 44, n. 1, p. 1-13, 2019.

GENCHI, G.; SINICROPI, M. S.; LAURIA, G.; CAROCCI, A.; CATALANO, A. Review Mercury Exposure and Heart Diseases. **International Journal of Environmental Research Public and Health**, v. 14, n. 74, p. 1-13, 2017.

GENCHI, G.; SINICROPI, M. S.; LAURIA, G.; CAROCCI, A.; CATALANO, A. The Effects of Cadmium Toxicity. **International Journal of Environmental Research Public and Health**, v. 17, n. 3782, p. 1-24, 2020.

JAN, A. T.; AZAM, M.; SIDDIQUI, K.; ALI, A.; CHOI, I.; HAQ, Q. M. R. Heavy metals and human health: mechanistic insight into toxicity and counter defense system of antioxidants. **International Journal Molecular Science**, v. 16, n. 12, p. 29592–29630, 2015.

MADEDDU, R.; SOLINAS, G.; FORTE, G.; BOCCA, B.; ASARA, Y.; TOLU, P.; DELOGU, L. G.; MURESU, E.; MONTELLA, A.; CASTIGLIA, P. Diet and nutrients are contributing factors that influence blood cadmium levels. **Nutrition research**, v. 31, n. 9, p. 691-697, 2011.

MERIAN, E. Introduction on environmental chemistry and global cycles of chromium, nickel, cobalt beryllium, arsenic, cadmium and selenium, and their derivatives†. **Toxicological & Environmental Chemistry**, v. 8, n. 1, p. 9–38, 1984.

NEW YORK STATE DEPARTMENT OF HEALTH CLINICAL LABORATORY EVALUATION PROGRAM. **Adopted revision to blood lead standards**, 2016.

NGOC, N. T. M.; CHUYEN, N. V.; THAO, N. T. T.; DUC, N. Q.; TRANG, N. T. T.; BINH, N. T. T.; SA, H. C.; TRAN, N. B.; BA, N. V.; KHAI, N. V.; SON, H. A.; HAN, P. V.; WATTENBERG, E. V.; NAKAMURA, H.; THUC, P. V. Chromium, cadmium, lead, and arsenic concentrations in water, vegetables, and seafood consumed in a coastal area in northern vietnam. **Environ Health Insights**, v. 14, p. 1-9, 2020.

OSADA, M.; IZUNO, T.; KOBAYASH, M. Relationship between environmental exposure to cadmium and bone metabolism in a non-polluted area of Japan. **Environmental Health and Preventive Medicine**, v. 16, n. 6, p. 341–349, 2011.

PAPADOMICHELAKIS, G.; PAPPAS, A. C.; ZOIDIS, E.; DANEZIS, G.; GEORGIU, K. A.; FEGEROS, K. Blood and hair as non-invasive trace element biological indicators in growing rabbits. **World Rabbit Science**, v. 27, n. 1, p. 21-30, 2019.

PUNSHON, T.; JACKSON, B. P.; MEHARG, A. A.; WARCZACK, T.; SCHECKEL, K.; GUERINOT, M. L. Understanding arsenic dynamics in agronomic systems to predict and prevent uptake by crop plants. **Science of the Total Environment**, v. 581-582, p. 209-220, 2017.

RAJESHKUMAR, S.; LIU, Y.; ZHANG, X.; RAVIKUMAR, B.; BAI, G.; LI, X. Studies on seasonal pollution of heavy metals in water, sediment, fish and oyster from the Meiliang Bay of Taihu Lake in China. **Chemosphere**, v. 191, p. 626–638, 2018.

SALEHI, Z.; ESMAILI-SAIRI, A. Hair mercury levels in pregnant women in Mahshahr, Iran: Fish consumption as a determinant of exposure. **Science of The Total Environment**, v. 408, n. 20, p. 4848-4854, 2010.

SATURDAY, A. Mercury and its associated impacts on environment and human health: a review. **Journal of Environment and Health Science**, v. 4, n. 2, p. 37- 43, 2018.

SCHULZ, C.; WILHEM, M.; HEUDORF, U.; KOLOSSA-GEHERING, M. Reprint of “update of the reference and HBM values derived by the German human biomonitoring commission”. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 215, n. 2, p. 150-158, 2012.

SHAO, D.; KANK, Y.; CHENG, Z.; WANG, H.; HUANG, M.; WU, S.; CHEN, K.; WONG, M. H. Hair mercury levels and food consumption in residents from the Pearl River Delta: South China. **Food Chemistry**, v. 136, n. 2, p. 682–688, 2013.

SON, J.-Y.; LEE, J.; PAAEK, D.; LEE, J-T. Blood levels of lead, cadmium, and mercury in the Korean population: results from the Second Korean National Human Exposure and Bio-monitoring Examination. **Environmental Research.**, v. 109, n. 6, p. 738-44, 2009.

SOUZA, M. T.; SILVA, M. D.; CARVALHO, R. Revisão integrativa: o que é e como fazer. **Einstein**, v. 8, n. 1, p. 102-106, 2010.

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Mercury Study Report to Congress IV: An Assessment of Exposure to Mercury in the United States**. EPA-452/R-97-006. Washington, DC: Office of Air Quality Planning and Standards and Office of Research and Development, 1997. 293 p.

WHO. **Brief guide to analytical methods for measuring lead in blood**, 2 ed. Geneva: World Health Organization, 2020. 24 p.

WILHELM, M.; EWERS, U.; SCHULZ, C. Revised and new reference values for some trace elements in blood and urine for human biomonitoring in environmental medicine. **International Journal of Hygiene and Environmental Health.**, v. 207, n. 1, p. 69-74, 2007.

## O USO DE QUINOXALINAS NATURAIS COMO PESTICIDAS EM SUBSTITUIÇÃO ÀS ALTERNATIVAS SEMISSINTÉTICAS E SINTÉTICAS

Daniela R. Alves<sup>1</sup>, Emmanuel S. Marinho<sup>2</sup>, Selene M. de Morais\*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, \*e-mail: selenemaiademorais@gmail.com.

<sup>2</sup>Universidade Estadual do Ceará, Faculdade de Filosofia Dom Aureliano Matos, Departamento de Química.

**RESUMO:** O uso incorreto de pesticidas no controle de pragas gerou contaminação dos leitos de lençóis freáticos, contaminação de alimentos, acúmulo no tecido de gado de corte, bem como a contaminação humana resultando no aparecimento de patologias. O núcleo quinoxalínico apresenta um grande potencial para a química medicinal, estando presente em diversos produtos naturais e sintéticos que apresentam atividade biológica e com baixa toxicidade. Propõe-se o uso de quinoxalinas de origem natural em substituição ao uso das alternativas sintéticas tóxicas atualmente utilizadas como pesticidas. Foram avaliadas cinco quinoxalinas semissintéticas, duas sintéticas e quatro de origem natural. Suas respectivas estruturas bidimensionais foram obtidas no PubChem®. As propriedades físico-químicas como pH e as propriedades farmacocinéticas de absorção, distribuição, metabolismo, excreção e toxicidade (ADMET) foram calculadas das substâncias no servidor online admetSAR e avaliadas quanto ao parâmetro de similaridade à droga. Substâncias sintéticas e semissintéticas foram melhor absorvidas e distribuídas pelo organismo, apresentando baixa taxa de metabolismo e excreção dificultada. O acúmulo destas substâncias tóxicas resulta no aparecimento de patologias. Conclui-se que as quinoxalinas constituem alternativas importantes como pesticidas, no entanto, estudos mais aprofundados ainda são necessários para determinar o impacto que estas substâncias têm diante da exposição descontrolada.

**Palavras-chave:** Pesticida. Toxicidade. Benzopirazinas.

**ABSTRACT:** The incorrect use of pesticides in pest control has generated contamination of groundwater beds, food contamination, accumulation in beef cattle tissue, as well as human contamination resulting in the appearance of pathologies. The quinoxaline core has a great potential for medicinal chemistry, being present in several natural and synthetic products that have biological activity and with low toxicity. It is proposed to use naturally occurring quinoxalins to replace the use of toxic synthetic alternatives currently used as pesticides. Five semi-synthetic quinoxalins, two synthetic and four of natural origin were evaluated. Their respective two-dimensional structures were obtained from PubChem ©. The physicochemical properties such as pH and the pharmacokinetic properties of absorption, distribution, metabolism, excretion and toxicity (ADMET) were calculated for the substances on the admetSAR online server and evaluated for the drug similarity parameter. Synthetic and semi-synthetic substances were better absorbed and distributed by the body, presenting a low rate of metabolism and impaired excretion. The accumulation of these toxic substances results in the appearance of pathologies. It is concluded that quinoxalins are important alternatives as pesticides, however, further studies are still needed to determine the impact that these substances have in the face of uncontrolled exposure.

**Keywords:** Pesticide. Toxicity. Benzopyrazines.

## 1 INTRODUÇÃO

O uso de pesticidas no controle de pragas é importante para proteger as safras e aumentar a produtividade e a qualidade da agricultura. Estes compostos têm sido aplicados em larga escala na última década, estando presentes em cerca de um terço da produção agrícola mundial. Extensa bibliografia versa que a forma incorreta de aplicação gerou efeitos adversos tais como: contaminação dos leitos de lençóis freáticos,

contaminação de frutas, verduras e deposição no tecido de gado de corte através do consumo de ração contaminada, bem como a contaminação humana resultando no aparecimento de patologias (RIBEIRO *et al.*, 2007; DAYAN; CANTRELL; DUKE, 2009; LIMA *et al.*, 2009; DELLAMATRICE; MONTEIRO, 2014; SASSO; CAMPOS; CLASEN, 2020).

Substâncias compostas por quinoxalinas tem sido amplamente utilizadas como pesticidas, demonstrando claramente o potencial desta classe química. A molécula de quinoxalina, ou benzopirazina, pertence ao grupo de compostos heterocíclicos e é formada por um anel benzeno e um anel pirazina. Esta classe de compostos está presente em uma grande variedade de ingredientes farmacêuticos e produtos naturais. Entretanto, apesar de seu largo potencial bioativo, ainda existe pouca aplicação industrial de compostos com quinoxalinas.

Novas substâncias bioativas no controle de pragas na agricultura estão sendo descobertas e/ou desenvolvidas, incluindo os produtos naturais e produtos semi-sintéticos (AZEVEDO *et al.*, 2019; LIU *et al.*, 2020). Deste modo, a partir do exposto, este trabalho objetiva demonstrar, através de estudos *in silico*, o potencial de substâncias com núcleo quinoxalínicos, sejam estas sintéticas, semi-sintéticas ou naturais, de modo a auxiliar no mapeamento das substâncias bioativas e contribuir com o desenho de estruturas com alvo mais seletivo, quanto ao seu potencial de reatividade biológica, de similaridade a drogas e farmacocinética preditiva.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

As substâncias escolhidas foram: A (*{4-[2-(7-methoxy-2-oxo-3-phenyl-1,2-dihydroquinoxalin-1-yl)propan-2-yl]phenyl}methylium*), B (*{(7-methoxy-2-oxo-3-phenyl-1,2-dihydroquinoxalin-1-yl)(4-methyliumylphenyl)bromanium*), C (*{3-[(E)-[(7-methoxy-2-oxo-3-phenyl-1,2-dihydroquinoxalin-1-yl)methylidene]amino]phenyl}methylium*), D (*{(7-methoxy-2-oxo-3-phenyl-1,2-dihydroquinoxalin-1-yl)(5-methyliumyl-1H-1,2,3-triazol-4-yl)chloranium*) e E (*{[(E)-[(7-methoxy-2-oxo-3-phenyl-1,2-dihydroquinoxalin-1-yl)methylidene]amino]methylium*), semissintéticas propostas por (LIU *et al.*, 2020); *Chinometionato* e *Diquat*, que são pesticidas comerciais; *Hunanamicina A*, *Izumifenazina*

C, Triostina A e vitamina B2, que são substâncias naturais. Suas respectivas estruturas bidimensionais foram obtidas no repositório virtual PubChem © (<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/>).

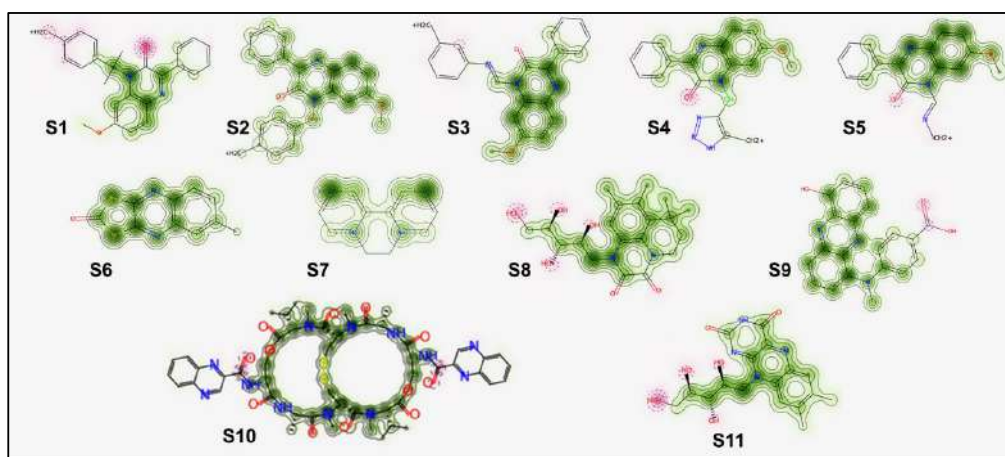
As propriedades físico-químicas das substâncias, em pH 7,4, foram calculadas usando o software de licença acadêmica MarvinSketch® versão 20.13.0 (CHEMAXON, 2020) e avaliadas segundo os critérios da “regra dos cinco” de Lipinski (2004). As propriedades de absorção, distribuição, metabolismo, excreção e toxicidade (ADMET) foram calculadas no servidor online admetSAR (<http://lmmmd.ecust.edu.cn/admetSar1/predict/>) (YANG *et al.*, 2019).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre os compostos que detém amplo potencial de uso na agricultura e na indústria farmacêutica destacam-se as quinoxalinas. Os anéis aromáticos destas substâncias, compostos por um benzeno e uma pirazina, formam uma rede de ressonância eletrônica altamente reativa. Esta atração eletrônica faz com que compostos que possuem essas moléculas como radicais sejam potenciais bioativos. O uso destas substâncias como produtos pesticidas é tão proeminente que recentes trabalhos buscaram a produção de compostos semissintéticos bioativos (LIU *et al.*, 2020) com foco em aumentar o potencial tóxico de algumas substâncias naturais.

Foram então avaliados vários compostos com grupo quinoxalínico, quanto ao seu potencial de reatividade biológica, de similaridade a drogas e farmacocinética. Em verde, na Figura 1, podemos perceber a nuvem eletrônica que facilita as interações biológicas, com ênfase no radical benzopirazina. Na ilustração, quão mais intensa a cor verde, maior a contribuição positiva do átomo em reações cardiotóxicas, descritas detalhadamente a seguir.

**Figura 1 – Predição de reatividade de quinoxalinas comerciais, semissintéticas e naturais. S1 - A; S2 - B; S3 - C; S4 - D; S5 - E; S6 - Chinometionato; S7 - Diquat; S8 - Hunanamicina A; S9 - Izumifenazina C; S10 - Triostina A; S11 - Vitamina B2**



De acordo com estes parâmetros de similaridade a drogas, somente Triostin A foi descartada por apresentar três violações à regra. Ainda, além disso, à exceção de E, chinomethionat e diquat, todos os compostos têm  $TPSA < 140\text{\AA}^2$ , o que significa que possuem a capacidade dificultada de se dissolver gradativamente na bicamada lipídica das células, sendo compostos com capacidade de penetração celular somente por seus baixos índices de lipofilicidade (Log P), como podemos visualizar na Tabela 1.

Relativo à predição de suas capacidades farmacocinéticas, a partir de sua estrutura química, em ensaios *in silico* almeja-se a predição da disposição de um composto farmacêutico em potencial dentro de um organismo, em comparação com uma biblioteca de mais de 11.000 compostos e fazendo relação direta entre sua estrutura e a atividade biológica descrita. Na avaliação quanto ao primeiro parâmetro, absorção, pôde-se verificar que todas as moléculas apresentaram capacidade de absorção intestinal. Ainda, os compostos A, B, C, D, E e diquat são capazes de permeiar células de carcinoma do cólon 2 (CaCo-2). Os compostos A, B, C, D, E, chinometionato, diquat e izumifenazina c apresentam boa disponibilidade oral.



**Tabela 1 – Propriedades físico-químicas e predição de toxicidade *in silico* de quinoxalinas comerciais, semissintéticas e naturais**

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
Peso molecular (MW)	383,4	421,2	368,4	367,8	292,3	234,3	184,2	392,4	345,3	1087,2	376,3
Log P	5,04	4,17	4,46	2,34	2,74	2,57	0,94	-0,46	3,95	0,59	-1,72
Ligações giratórias	4	4	4	4	3	0	0	5	3	6	5
Aceptores de ligação de hidrogênio	4	4	5	6	5	5	0	8	5	18	9
Doadores de ligação de hidrogênio	0	0	0	1	0	0	0	4	2	4	5
Área total de superfície polar (TPSA)	169,98	163,32	162,14	152,04	127,09	93,05	83,07	161,85	148,53	445,85	152,29

S1 - A; S2 - B; S3 - C; S4 - D; S5 - E; S6 - Chinometionato; S7 - Diquat; S8 - Hunanamicina A; S9 - Izumifenazina C; S10 - Triostina A; S11 - vitamina B2.

Quanto a distribuição destes compostos no organismo podemos verificar que A, B, C, D, E e triostina A são capazes de inibir a glicoproteína P, uma proteína importante da membrana celular, cuja função é agir como mecanismo de defesa contra substâncias nocivas. Não menos importante, após absorvidas, todas as substâncias detêm potencial para perpassar pela membrana hematoencefálica (MHE) (BALLABH; BRAUN; NEDERGAARD, 2004), podendo causar efeitos colaterais de acordo com seu grau de toxicidade, a ser discutido posteriormente.

Com relação ao metabolismo, todas as moléculas sintéticas e semissintéticas apresentaram inibição às moléculas do citocromo P450 (CYP), bem como demonstraram ligação aos receptores dos hormônios estrógeno, andrógeno glicocorticoide e tireoide, atuando como inibidores da bomba de sal biliar. As substâncias naturais interagiram com os transportadores farmacocinéticos, mas não demonstraram promiscuidade inibitória das CYP. Quanto a excreção, somente as substâncias naturais e o chinometionato são facilmente expelidas do organismo.

Todas as substâncias sintéticas e semissintéticas apresentaram potencial hepatotoxicidade e cardiotoxicidade em humanos e eco toxicidade em crustáceos, com destaque para B, E e diquat, que também podem ser tóxicos para espécies de abelha, um importante biomarcador de saúde ambiental. Diquat ainda demonstrou potencial

capacidade de irritação ocular em humanos. Se estivéssemos considerando somente seu potencial ativo e farmacocinético, estes compostos sintéticos e semissintéticos seriam determinados como os melhores.

Entretanto, temos que ponderar que se trata de compostos bioativos cuja aplicação pode causar danos ao ser humano e ao meio ambiente. Os resultados demonstram que sua facilidade de absorção por via oral ou intestinal e a facilidade com que estes compostos bioativos atravessam a MHE é potencialmente uma das vias de maior dano ao organismo, uma vez que, ao atingir estas células, estas substâncias inibem as proteínas capazes de identificá-las como nocivas e modificam o padrão de atividade sobre os vários transportadores farmacocinéticos anteriormente citados.

#### **4 CONCLUSÕES**

Pode-se concluir que, ainda que seja possível sintetizar compostos com base em produtos naturais, objetiva-se que o produto deva apresentar toxicidade somente ao patógeno. Com foco em proposição de pesticidas que possam ser seletivos quanto ao patógeno, propõe-se o uso de compostos similares aos produtos naturais com as quinoxalinas em substituição ao uso das alternativas sintéticas ou semissintéticas menos seletivas. Estudos mais aprofundados ainda são necessários para determinar tempo de deposição dessas substâncias no corpo, uma vez que possuem excreção dificultada, bem como no impacto que estas têm diante da exposição descontrolada das pessoas ao composto.

#### **5 AGRADECIMENTOS**

Agradecemos à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pela bolsa de Doutorado e também à Universidade Estadual do Ceará pelas instalações para a realização deste trabalho.

## 6 REFERÊNCIAS

AZEV, Y. A.; KOPTYAEVA, O. S.; TSMOKALYUK, A. N.; POSPELOVA, T. A.; GERASIMOVA, N. A.; EVSTIGNEEVA, N. P.; ZIL'BERBERG, N. V.; KUNGUROV, N. V.; CHUPAKHIN, O. N. Synthesis of Natural and Biologically Active Quinoxaline Analogs. **Chemistry of Natural Compounds**, v. 55, n. 3, p. 513–519, 2019.

BALLABH, P.; BRAUN, A.; NEDERGAARD, M. The blood-brain barrier: An overview: Structure, regulation, and clinical implications. **Neurobiology of Disease**, v. 16, n. 1, p. 1–13, 2004.

CHEMAXON. **Marvin: A full featured chemical editor for making science accessible on all platforms**. Disponível em: <https://chemaxon.com/products/marvin>.

DAYAN, F. E.; CANTRELL, C. L.; DUKE, S. O. Natural products in crop protection. **Bioorganic & Medicinal Chemistry**, v. 17, n. 12, p. 4022–4034, 2009.

DELLAMATRICE, P. M.; MONTEIRO, R. T. R. Principais aspectos da poluição de rios brasileiros por pesticidas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 12, p. 1296–1301, 2014.

LIMA, E. P.; LOPES, S. de M. B.; AMORIM, M. I. M. de; ARAÚJO, L. H. S.; NEVES, K. R. T.; MAIA, E. R. Exposição a pesticidas e repercussão na saúde de agentes sanitários no Estado do Ceará, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 14, n. 6, p. 2221–2230, 2009.

LIPINSKI, C. A. Lead- and drug-like compounds: The rule-of-five revolution. **Drug Discovery Today: Technologies**, v. 1, n. 4, p. 337–341, 2004.

LIU, X.-H.; YU, W.; MIN, L.-J.; WEDGE, D. E.; TAN, C.-X.; WENG, J.-Q.; WU, H.-K.; CANTRELL, C. L. BAJSA-HISCHEL, J.; HUA, X.-W.; DUKE, S. O. Synthesis and pesticidal activities of new quinoxalines. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 68, n. 28, p. 7324–7332, 2020.

RIBEIRO, M. L.; LOURENCETTI, C.; PEREIRA, S. Y.; MARCHI, M. R. R. de. Contaminação de águas subterrâneas por pesticidas: avaliação preliminar. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 688–694, 2007.

SASSO, E. L.; CAMPOS, L. M. de; CLASEN, B. Análise espaço-temporal de intoxicação por pesticidas no Rio Grande do Sul. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 37, n. 2, p. 1–9, 2020.

YANG, H.; LOU, C.; SUN, L.; LI, J.; CAI, Y.; WANG, Z.; LI, W.; LIU, G.; TANG, Y.; WREN, J. admetSAR 2.0: web-service for prediction and optimization of chemical ADMET properties. **Bioinformatics**, v. 35, n. 6, p. 1067–1069, 2019.

## PERFIL DE COMPOSTOS VOLÁTEIS DE PEDÚNCULOS DE NOVOS CLONES DE CAJUEIRO (*ANACARDIUM OCCIDENTALE* L.)

Ailane S. Freitas<sup>1\*</sup>, Hilton C. R. Magalhães<sup>2</sup>, Samuel A. Paz<sup>1</sup>, Jéssica B. Maciel<sup>1</sup>,  
Deborah dos S. Garruti<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciências Naturais, Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciências e Tecnologia, \*e-mail: ailanefreitas@yahoo.com.br.

<sup>2</sup>Embrapa Agroindústria Tropical.

**RESUMO:** O desenvolvimento de clones de cajueiro anão tem permitido o aumento da produtividade, a melhoria da qualidade da castanha e um melhor aproveitamento do pedúnculo. Com aumento da variabilidade faz-se necessário caracterizar os pedúnculos dos novos clones, gerando conhecimento para apoiar o programa de melhoramento e orientar o uso racional de sua comercialização e industrialização. O objetivo deste trabalho foi determinar o perfil de compostos voláteis do pedúnculo de 5 novos clones de cajueiro pelas técnicas HS-SPME e GC-MS, comparando com 2 clones comerciais. Foram detectados 48 compostos voláteis nos pedúnculos dos clones de cajueiro. A classe química majoritária foi a dos ésteres (51%), seguido por álcoois (14%), cetonas (10%), aldeídos (8%), terpenos (8%), ácidos (6%) e 1 composto não identificado (2%). O estudo demonstrou que os novos clones de caju possuem pedúnculos com composição volátil bem distinta, permitindo o uso desses compostos como possíveis marcadores químicos de qualidade do aroma de cada material genético.

**Palavras-chave:** Caracterização. Pseudofruto. HS-SPME-GC-MS.

**ABSTRACT:** The development of dwarf cashew clones has enabled increased productivity, improved chestnut quality and better use of the peduncle. With increased variability, it is necessary to characterize the peduncles of the new clones, generating

knowledge to support the improvement program and guide the rational use of its commercialization and industrialization. The objective of this work was to determine the profile of volatile compounds in the peduncle of 5 new cashew clones by HS-SPME and GC-MS techniques, comparing with 2 commercial clones. 48 volatile compounds were detected in the peduncles of the cashew clones. The major chemical class was that of esters (51%), followed by alcohols (14%), ketones (10%), aldehydes (8%), terpenes (8%), acids (6%) and 1 unidentified compound (2%). The study demonstrated that the new cashew clones have peduncles with a very different volatile composition, allowing the use of these compounds as possible chemical markers of the aroma quality of each genetic material.

**Keywords:** Characterization. Cashew apple. HS-SPME-GC-MS.

## 1 INTRODUÇÃO

O cajueiro é encontrado em ecossistemas do Norte e Nordeste brasileiros, com aparecimento abundante e espontâneo na região litorânea do Nordeste. O pseudofruto, formado pelo pedúnculo floral hipertrofiado é a parte carnosa e comestível como fruta e tem aproveitamento tanto em escala industrial como no consumo in natura. Seus principais produtos industrializados e comercializados são: suco, néctar, cajuína, polpa e doces. Apesar disso, a estimativa de perda do pedúnculo varia de 75% (mais otimista) a 90% (mais pessimista) (OLIVEIRA, 2009; O ESTADO, 2015).

O Brasil que possuía grande destaque na produção de caju em 2009, apresentou baixa atividade nos anos seguintes, devido a pomares formados por plantas desuniformes, de baixa produtividade e rentabilidade. Porém, a utilização de clones de cajueiro anão vem mudando esse cenário, pois tem permitido o aumento da produtividade, a melhoria da qualidade da castanha e um melhor aproveitamento do pedúnculo (SERRANO; OLIVEIRA, 2013). Com o aumento da variabilidade, faz-se necessário caracterizar os pedúnculos dos novos clones, gerando conhecimento para

apoiar o programa de melhoramento e orientar o uso racional de sua comercialização e industrialização.

O aroma é uma das características mais apreciadas da fruta e é o resultado de uma complexa mistura de compostos orgânicos voláteis (VOC). Frutas diferentes compartilham características aromáticas, mas cada fruta tem um aroma distinto devido à combinação de voláteis, a concentração e o limiar de percepção dos VOC. A identificação desses metabólitos torna-se essencial, pois permite a formação da identidade sensorial por meio da percepção das características aromáticas individuais da fruta (CHEONG *et al.*, 2010). O estudo da fração volátil também contribui para melhorar o aroma por meio do cruzamento genético (MORENO; GONZÁLEZ-MAS; RODRÍGUEZ-BURRUEZO, 2012). Diante disso, o objetivo deste trabalho foi fazer a caracterização do perfil de compostos voláteis do pedúnculo de sete clones de cajueiro.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram analisados pedúnculos de cinco novos clones de cajueiro, PRO 555/2, PRO 805/4, HAC 276/1, SLC 12-20 e CAPI 17, tendo como referências os clones comerciais CCP 76 e EMBRAPA 51, todos provenientes do Campo Experimental de Pacajus da Embrapa Agroindústria Tropical, colhidos da safra de 2018 (agosto a outubro). Os pedúnculos foram avaliados quanto ao perfil de voláteis por HS-SPME e GC-MS.

O material foi processado e adicionado de NaCl 30% para obter o efeito de *salting out* e congelados para análise posterior. A extração dos compostos voláteis foi feita com a fibra CAR/PDMS, tempo de equilíbrio de 10 min, tempo de exposição de 35 min a 45 °C. A separação dos compostos voláteis foi realizada em cromatógrafo gasoso Agilent modelo 7890B, equipado com um detector de massas, modelo 5977A. A identificação dos compostos foi realizada através de comparações do espectro de massas do composto desconhecido com espectros fornecidos pela biblioteca NIST

versão 1.6, além da comparação dos Índices de Kovats (IK) obtidos na coluna ZB-Wax com os valores de IK descritos nas bases de dados online (NIST, 2019).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

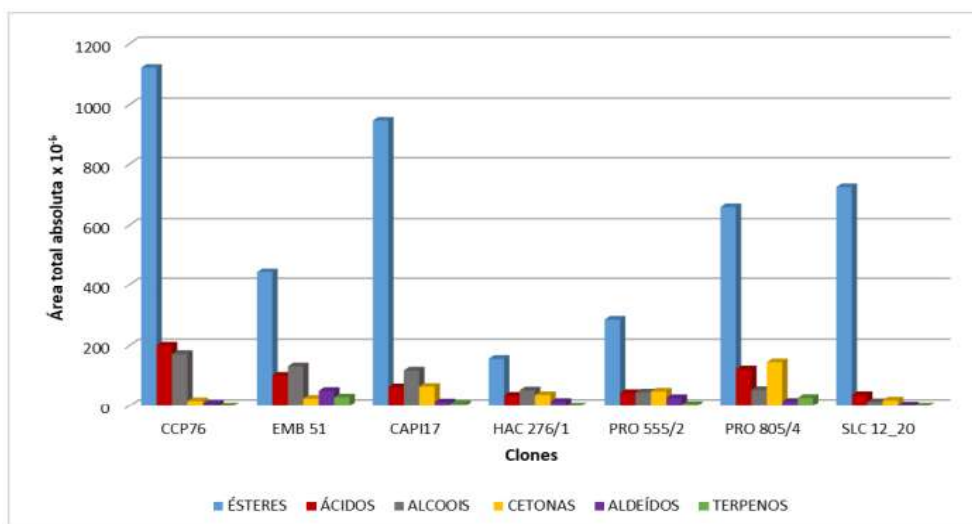
Foram identificados 48 compostos voláteis nos pedúnculos dos clones de cajueiro. A classe química majoritária foi a dos ésteres, com 25 compostos (51%). Foram também identificados 7 álcoois (14%), 5 cetonas (10%), 4 aldeídos (8%), 4 terpenos (8%), 3 ácidos (6%) e 1 composto não identificado (2%). Como pode ser visualizado na Figura 1, os ésteres representaram também a maior porcentagem de área do cromatograma em todos os clones avaliados.

As classes químicas dos ácidos, álcoois, cetonas, aldeídos e terpenos aparecem em ordens diferentes de acordo com sua proporção de área em cada clone. Os ácidos são a segunda maior classe nos clones CCP 76 e SLC 12-20, diferente de EMBRAPA 51, CAPI 17 e HAC 276/1, em que os ésteres foram seguidos de álcoois. Já os clones PRO 555/2 e PRO 805/4 tiveram as cetonas como segunda maior classe.

Os resultados corroboraram com os estudos de Garruti *et al.* (2003) e Biasoto *et al.* (2015) para o suco fresco do clone CCP 76. Utilizando a técnica de enriquecimento em *headspace* dinâmico por sucção (a vácuo) em polímero Porapak Q®, Garruti *et al.* (2003) identificaram 58 compostos por GC-MS, dos quais 42% também corresponderam aos ésteres, os quais foram a principal classe também em termos de área (50%).

A Tabela 1 mostra a distribuição dos compostos majoritários nos pedúnculos de caju de diferentes clones. Quando ordenados em ordem decrescente pela dimensão da área, os compostos alcançaram posições diferentes de acordo com o clone estudado.

**Figura 1 – Área total absoluta dos picos por classe química para cada clone**



Fonte: Elaborado pelos autores.

**Tabela 1 – Compostos majoritários presentes nos pedúnculos de cajueiro estudados**

Compostos	CCP 76	EMBRAPA 51	CAPI 17	HAC 276/1	PRO 555/2	PRO 805/4	SLC 12-20
3-metilbutanoato de etila	X	X	X	X	X	X	X
NI		X	X	X	X	X	X
2,3-butanediona				X	X	X	
Ácido 3-metil-butanóico	X					X	
Butanoato de etila	X		X			X	X
(E)-2-metil-2-butenóico de etila			X				X
Hexanoato de etila			X				X
Acetato de etila	X	X	X	X			X

Fonte: elaborado pelo autor.

Observou-se que o 3-metilbutanoato de etila foi o composto majoritário nos clones CCP 76, SLC 12-20, PRO 555/2 e EMBRAPA 51, enquanto o composto não identificado (NI) foi o composto majoritário nos clones CAPI 17, PRO 805/4 e HAC 276/1. Resultados semelhantes foram obtidos por Biasoto *et al.* (2015) e Garruti *et al.* (2003)



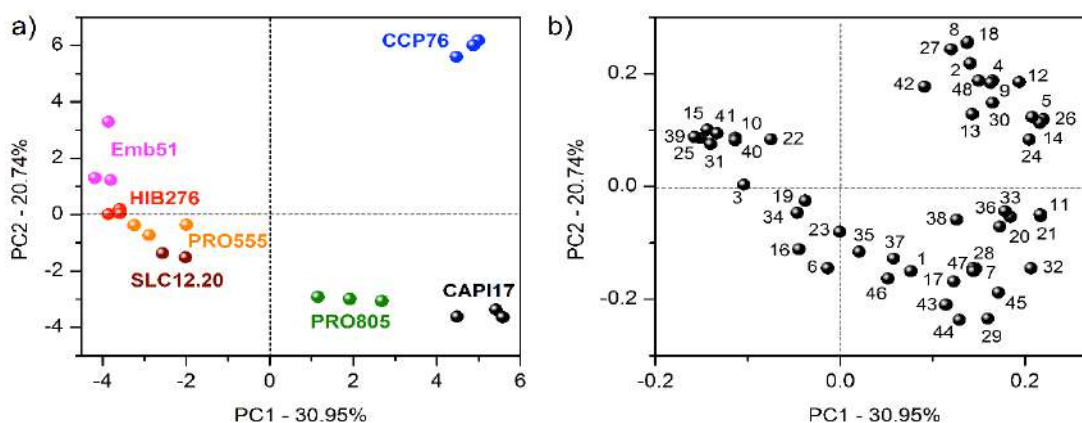
para o clone CCP 76, porém o estudo de Sampaio *et al.* (2011) obteve compostos majoritários diferentes dos encontrados no presente estudo. Essas diferenças podem ser explicadas por diversos fatores, como a variabilidade genética do material utilizado, o método de extração utilizado, as condições de extração e as condições cromatográficas estabelecidas para cada análise.

Devido ao elevado número de compostos identificados, foi desenvolvida uma análise estatística multivariada não supervisionada por Análise de Componentes Principais considerando a área dos picos. A Figura 2 ilustra os sistemas de coordenadas PC1 × PC2 que retiveram 51,7% da variância total. As amostras de suco de caju dos clones Embrapa 51, HAC 276/1, PRO 555/2 e SLC 12-20 agruparam-se no lado negativo de PC1 pelas maiores quantidades de 2-metilbutanal (composto 3), 1-penten-3-ona (10), hexanal (15), 1-penten-3-ol (25), 2-hexenal (31), 2-penten-1-ol (39), 1-hexanol (40) e 2-octanol (41).

Por outro lado, o suco de caju do CCP76 caracterizou-se principalmente por apresentar maiores quantidades de acetato de etila (2), etanol (4), propanoato de etila (5), butanoato de metila (8), dissulfeto de dimetila (14), 3-metilpentanoato de metila (18), 3-metilpentanoato de etila (26), e 2-metil-2-butenato de metila (27) que os demais clones. Os compostos 3-metilpentanoato de metila e butanoato de metila, presentes apenas no clone CCP 76, podem ser um dos fatores relacionados à qualidade desse clone como referência, pois remetem aos aromas doce, fruta e caju.

Por sua vez, os clones CAPI17 e PRO805 agruparam-se pela correlação positiva com altas quantidades de 2-pentanona (7), butanoato de etila (11), acetato de 3-metilbutila (17), etil pentanoato (20), 2,3-hexanodiona (21), etil hexanoato (32), etil 2-metil-2-butenato (33), 1-pentanol (36), etil 2-hidroxi-4-metilpentanoato (43), metil 2-hidroxi-hexanoato (44) e ácido hexanóico (47). Esses clones foram os que apresentaram maior riqueza e diversidade de classes químicas.

**Figura 2 - Resultados da PCA da composição de voláteis do suco de caju de acordo com o clone**



#### 4 CONCLUSÕES

Os novos clones de cajueiro possuem pedúnculos com características de composição de voláteis distintas, permitindo o uso desses compostos como possíveis marcadores químicos de qualidade do aroma de cada material genético e a seleção de cultivares de acordo com o interesse comercial.

#### 5 AGRADECIMENTOS

À CAPES e Embrapa Agroindústria Tropical, pela parceria.

#### 6 REFERÊNCIAS

BIASOTO, A. C. T.; SAMPAIO, K. L.; MARQUES, E. J. N.; SILVA, M. A. A. P. Dynamics of the loss and emergence of volatile compounds during the concentration of cashew apple juice (*Anacardium occidentale* L.) and the impact on juice sensory quality. **Food Research International**, Burlington, v.69, p.224-234, 2015.

CHEONG, K. W.; TAN, C. P.; MIRHOSSEINI, H.; HAMID, N. S. A.; OSMAN, A.; BASRI, M. Equilibrium headspace analysis of volatile flavour compounds extracted from soursop (*Annona muricata*) using solid phase microextraction. **Food Research International**, v. 43, n. 5, p. 1267–1276, 2010.

GARRUTTI, D. S.; FRANCO, M. R. B.; SILVA, M. A. A. P.; JANZANTTI, N. S.; ALVES, G. L. Evaluation of volatile flavour compounds from cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) juice by the Gas chromatography/olfactometry technique. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 83, n. 14, p.1455-1462. 2003.

O ESTADO (Brasil) (Ed.). **Produtores cearenses clamam urgente viabilização do Funcaju**. Economia. Fortaleza: O Estado. Página modificada em: 27 jan. 2015. Disponível em: <https://www.oestadoce.com.br/economia/produtores-cearenses-clamam-urgente-viabilizacao-do-funcaju>. Acesso em: 09 dez. 2019.

OLIVEIRA, Leonel Gois Lima. **Integração da cadeia produtiva do agronegócio caju ao desenvolvimento sustentável**. 2009. 146 f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Programa de Pós-Graduação em Administração, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2009.

MORENO, E.; FITA, A.; GONZÁLEZ-MAS, M. C.; RODRÍGUEZ-BURRUEZO, A. HS-SPME study of the volatile fraction of Capsicum accessions and hybrids in different parts of the fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 135, p. 87–97, 2012.

SAMPAIO, K. L.; GARRUTI, D. S.; FRANCO, M. R. B.; JANZANTTI, N. S.; SILVA, M. A. A. P. Aroma volatiles recovered in the water phase of cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) juice during concentration. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 91, n. 10, p. 1801-1809, 2011.

SERRANO, L. A. L.; OLIVEIRA, V. H. Aspectos botânicos, fenologia e manejo da cultura do cajueiro. In: ARAÚJO, J. P. P. (Ed.). **Agronegócio caju: práticas e inovações**. Brasília, DF: Embrapa, 2013. p. 77-159.

## POLUENTES EMERGENTES EM ÁGUA CINZA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Ingrid M. Mamedes\*<sup>1</sup>, Silvia G. S. Tiradentes<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, \*e-mail: dihmamedes@gmail.com.

**RESUMO:** Nos últimos anos, muita importância tem sido dada à presença de poluentes emergentes no esgoto municipal, alguns dos quais são suspeitos de serem desreguladores endócrinos, tóxicos ou cancerígenos. Entretanto, pouco se sabe sobre a presença de poluentes emergentes em águas cinza, sendo a literatura sobre o assunto bastante precária. Dessa forma, por meio de criteriosa revisão bibliográfica, a presente pesquisa reuniu dados referentes a poluentes emergentes em águas cinza no mundo, objetivando o reuso seguro da água cinza e a busca pelo tratamento adequado. Com isso, podemos identificar surfactantes, emulsificantes, conservantes, fragrâncias e filtros UV, os quais representam potencial risco ao meio ambiente. Além do mais, alguns destes poluentes são bioacumuláveis, assim sendo, quando consumidos em uma cadeia alimentar podem aumentar em concentração. Pode-se concluir que há uma necessidade urgente de mais informações sobre as características de diferentes tipos de águas cinza a fim de ser capaz de avaliar o potencial de reutilização e infiltração.

**Palavras-chave:** Reúso. Tratamento de esgoto. Produtos de cuidado pessoal.

**ABSTRACT:** In recent years, much importance has been given to the presence of emerging pollutants in municipal sewage, some of which are suspected of being endocrine disruptors, toxic or cancerous. However, little is known about the presence of emerging pollutants in gray waters, and the literature on the subject is quite precarious. Thus, through a thorough bibliographic review, the present research gathered data regarding pollutants emerging in gray waters worldwide, aiming at the safe reuse of gray

water and the search for adequate treatment. With this, we can identify surfactants, emulsifiers, preservatives, fragrances and UV filters, which represent a potential risk to the environment. In addition, some of these pollutants are bioaccumulative, so when consumed in a food chain they can increase in concentration. It can be realized that there is an urgent need for more information on the characteristics of different types of gray waters in order to be able to assess the potential for reuse and infiltration.

**Keywords:** Reuse. Sewage treatment. Personal care products.

## 1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional e o conseqüente aumento da demanda por água potável, o reúso das águas cinza (AC) passou a ser uma alternativa cada vez mais explorada (COUTO *et al.*, 2015). A AC é a parcela do esgoto doméstico produzida nos lavatórios, chuveiros, máquinas de lavar roupa, tanques, pia de cozinha e lava louças (OTTERPOHL, 2001).

Entretanto, pesquisas recentes tem demonstrado cada vez mais a necessidade de tratamentos específicos, pois as características das águas cinza são altamente variáveis e dependem do estilo de vida e hábitos de uso de produtos de consumo pessoal e limpeza doméstica nas residências (ERIKSSON *et al.*, 2002). Com isso, são compostas por produtos e compostos químicos sintéticos que tem como destino final todos os dias os corpos hídricos que se constituem em nossas fontes de abastecimento de água. Muitos destes compostos são designados como poluentes emergentes (PE), os quais não são regulamentados e que apesar de serem utilizados há muito tempo, foram descobertos no meio ambiente recentemente ou ainda não foram investigados.

Sendo assim, estudos realizados em vários países têm comprovado que os sistemas de tratamento de esgoto implantados (tratamento secundário e terciário) não removem satisfatoriamente poluentes emergentes (DICKENSON *et al.*, 2011;

MATAMOROS *et al*, 2012; SALGADO *et al*, 2013). Estas substâncias eram consideradas de baixo risco ambiental pelo fato de serem encontradas em concentrações baixas, na ordem de  $\mu\text{g.L}^{-1}$  a  $\text{ng.L}^{-1}$ . Entretanto, mesmo em pequenas concentrações, os efeitos no ambiente já estão despertando a atenção dos pesquisadores, dentre eles estão: resistência de bactérias, toxicidade crônica aos seres vivos, perturbação no sistema endócrino dos organismos, alergias, sensibilidade respiratória, carcinogenicidade, toxicidade para órgãos específicos, entre outros (BILA; DEZOTTI, 2003; PETROVIĆ *et al*, 2003; SODRÉ *et al.*, 2007).

Diante disso, diversos autores têm investido em pesquisas sobre PE em esgoto doméstico e apesar das diferenças culturais, de hábitos e consumos, os resultados mostram que o problema é de ordem mundial e similar de um país para o outro (ROTSIDOU; SCRIMSHAW, 2015; PEÑA-GUZMÁN *et al*, 2019). Apesar disso, o número de pesquisas que abordam PE especificamente em água cinza ainda é limitado, sendo assim, visando o reuso da água cinza, este trabalho teve como objetivo levantar os potenciais poluentes emergentes em água cinza no mundo.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Com a finalidade de delimitar o objeto de estudo e o campo de investigação para a realidade que se pretende aprender, optou-se por selecionar apenas produções na forma de artigos publicados em periódicos ou em anais de congresso em português ou em inglês. Os artigos levantados compreenderam o período de 2003 até 2020. Os descritores de assuntos utilizados para a busca de artigos incluíram: grey water, emerging pollutants e xenobiotic organic compounds. Os mesmos descritores, em português, também foram utilizados para a pesquisa.

Após a identificação inicial dos estudos e retirada de duplicatas, os mesmos passaram por uma triagem inicial a partir da leitura de título e resumo e, então, os estudos restantes foram lidos na íntegra. Foram incluídos no trabalho apenas estudos que descreviam poluentes emergentes em água cinza, desconsiderando os artigos que

abrangiam poluentes emergentes em esgoto sanitário como um todo. Os estudos incluídos na revisão sistemática tiveram seus dados extraídos e analisados. O critério de seleção dos artigos foi fundamentado na abordagem do tema proposto. Após esta triagem, foram selecionados somente 4 artigos, visto que o tema ainda é pouco explorado e as informações são escassas.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Produtos de cuidados pessoais e limpeza doméstica presentes nas águas cinza são um dos vários tipos de poluentes emergentes, os quais compostos bioativos e metabólitos foram encontrados em águas subterrâneas, águas superficiais, água potável e no solo (DAUGHTON; TERNES, 1999; ZHOU *et al.*, 2013). Dessa maneira, quando estas substâncias são descarregadas no meio ambiente, elas podem causar relevantes impactos em organismos terrestres e aquáticos (FENT *et al.*, 2006).

Os surfactantes e emulsificantes obtiveram destaque na revisão da literatura realizada totalizando 66 PEs (Tabela 1), entre eles o 1-Hexadecanol e o 2-(Dodecyloxy)-ethanol foram identificados em maiores concentrações em água cinza, 37,7 e 63,7 µg/L respectivamente (ERIKSSON *et al.*, 2003). A categoria das fragrâncias também obteve destaque totalizando 49 poluentes e são muito frequentes em produtos de cuidado pessoal como o xampu, condicionador, sabonete, creme hidratante para pele, como também em produtos de limpeza doméstica como sabão para lavagem de roupas, detergentes, amaciantes, entre outros. O citronellol, coumarin, Eugenol e Geraniol foram as fragrâncias mais citadas pelos autores.

**Tabela 1 - Poluentes Emergentes em água cinza (continua)**

Categoria	Compostos	Fonte			
		1	2	3	4
Surfactantes e emulsificantes	1-Hexadecanol		x		

(continua)

Categoria	Compostos	Fonte			
		1	2	3	4
	Cyclododecane		x		
	p-Octylphenolmethyl		x		
	Tetradecanoic acid, 12-methyl-, methylester		x		
	Tetradecanoic acid, dodecyl ester	x	x		
	15-Octadecanoic acid		x		
	1-Dodecanamine, N,N-dimethyl-	x	x		
	1-Dodecanol		x		
	1-Hexadecanol	x	x		
	1-Octadecanol	x	x		
	2-(Dodecyloxy)-ethanol	x	x		
	2-(Tetradecyloxy)-ethanol		x		
	4-nonylphenol (NP)		x		
	4-NP di-ethoxylate		x		
	4-NP hepta-ethoxylate		x		
	4-NP hexa-ethoxylate		x		
	4-NP mono-ethoxylate		x		
	4-NP octa-ethoxylate		x		
	4-NP penta-ethoxylate		x		
	4-NP tetra-ethoxylate		x		
	4-NP tri-ethoxylate		x		
	4-octylphenol (OP)		x		
	4-OP di-ethoxylate		x		
	4-OP hepta-ethoxylate		x		
	4-OP hexa-ethoxylate		x		
	4-OP mono-ethoxylate		x		



(continua)

Categoria	Compostos	Fonte			
		1	2	3	4
	4-OP octa-ethoxylate		x		
	4-OP penta-ethoxylate		x		
	4-OP tetra-ethoxylate		x		
	4-OP tri-ethoxylate		x		
	9-Methyltetradecanoic acid		x		
	9-Octadecenoic acid	x	x		
	9-Octadecenoic acid, (Z)-, methyl ester	x	x		
	Benzalkonium chloride		x		
	Bisphenol-A		x		
	Carbomer				x
	Cyclododecane	x			
	Decanoic acid		x		
	Dimethicone				x
	Dodecanamide, N-(2-hydroxyethyl)-	x	x		
	Dodecanamide, N,N-bis(2-hydroxyethyl)-	x	x		
	Dodecanoic acid	x	x		
	Dodecanol	x			
	Elicosanoic acid		x		
	Glycerin				x
	Hexacanoic acid		x		
	Hexadecanoic acid, 1,2-ethanediyl ester	x	x		
	Hexadecanoic acid, hexadecyl ester	x	x		
	Hexanoic acid		x		
	Isopropyl myristate	x	x		

(continua)

Categoria	Compostos	Fonte			
		1	2	3	4
	methyl Ester		x		
	Methyltetradecanoic acid	x			
	Nonylphenol	x			
	Octadecanoic acid	x	x		
	Octadecanoic acid, 2-hydroxyethyl ester	x	x		
	Octadecanoic acid, 2-methylpropyl ester	x	x		
	Octadecanoic acid, butyl ester	x	x		
	Octadecanoic acid, methyl ester	x	x		
	Octanoic acid		x		
	p-Octylphenol	x			
	Tetracanoic acid		x		
	Tetracosanoic acid, methyl ester	x	x		
	Tetradecanoic acid	x	x		
	Tetradecanoic acid, 12-methyl-	x	x		
	Tetradecyloxy)-ethanol	x			
	Thymol	x			
<b>Fragrâncias</b>	1-Dodecene	x	x		
	1-Hexadecene	x	x		
	3-Hexanol	x	x		
	3-Hexanone	x	x		
	3-Methylphenol		x		
	4-Methoxy-benzoic acid	x	x		
	4-Methylphenol	x	x		
	6-Methyl-5-hepten-2-one	x	x		

(continua)

Categoria	Compostos	Fonte			
		1	2	3	4
	Anise camphor (trans-anethole)		x		
	Benzyl Salicylate				x
	Butanoic acid, butyl ester	x	x		
	Caffeine	x	x		
	Camphor	x	x		
	Carvone	x	x		
	Citronellol	x	x		x
	Coumarin	x	x		x
	Decanoic acid	x	x		
	Dihydroabietate		x		
	Dihydromyrcenol	x	x		
	Dodecanal	x	x		
	Dodecanoic acid, methyl ester	x	x		
	Eucalyptol	x	x		
	Eugenol	x	x		x
	Farnesol	x	x		
	Galaxolide		x	x	
	Geraniol	x	x		x
	Geranyl acetone	x	x		
	Hexadecanoic acid	x	x		
	Hexyl cinnamic aldehyde	x	x		
	Hexyl cinnamal				x
	Homomyrtenol	x	x		
	Hydroxycitronellol	x	x		
	Indole	x	x		
	Isoeugenol	x	x		

(continua)

Categoria	Compostos	Fonte			
		1	2	3	4
	Limonene				X
	Linalool	X	X		X
	Linalyl propanoate	X	X		
	Menthol	X	X		
	Menthone	X	X		
	Methyl abietate	X	X		
	Methyl dihydroabietate	X	X		
	Methyl dihydrojasmonate		X		
	Phenylethyl alcohol	X	X		
	Squalene	X	X		
	Terpineol	X	X		
	Tetradecanoic acid, methyl ester	X	X		
	Thymol		X		
	Tonalide		X	X	
	$\alpha$ -Methyl-benzene methanol	X	X		
<b>Conservantes e antioxidants</b>	2,4-Dichlorophenol		X		
	2,5-Dichlorophenol		X		
	2-Phenoxy ethanol	X	X		
	Acetic acid, phenoxy-	X	X		
	Benzoic acid	X	X		
	Benzoic acid, 4-hydroxy-	X	X		
	Butylated hydroxyanisole	X	X		
	Butylated hydroxytoluene	X	X		
	Butylparaben		X		
	Citric acid	X	X		
	Dichlorophenol		X		

(continua)

Categoria	Compostos	Fonte			
		1	2	3	4
Amaciantes	Ethylparaben	x	x		
	Isobutylparaben		x		
	Malathion	x	x		
	Methylparaben	x	x	x	
	n-Propylparaben			x	
	Octanoic acid	x	x		
	Phenol, 2,6-bis(1,1-dimethylethyl)-4-(methoxymethyl)-	x	x		
	Phenoxyethanol				x
	Propylparaben		x		
	Salicylic acid	x			
	Triclosan	x	x	x	
	Bis(2-ethylhexyl) phthalate	x			
	Butylbenzyl phthalate		x		
	Decanedioic acid, bis(2-ethylhexyl) ester	x	x		
	Di-(2-ethylhexyl) phthalate		x		
	Dibutyl phthalate	x	x		
	Diethyl phthalate	x			
	Dimethyl phthalate		x		
	Di-n-butyl phthalate		x		
	Dipentyl-phthalate				
Hexadecanoic acid, methyl ester	x	x			
Hexanedioic acid, bis(2-ethylhexyl) ester	x	x			
Mono 2-ethylhexyl phthalate	x	x			

Categoria	Compostos	(conclusão)			
		1	2	3	4
<b>Filtros UV</b>	2-Phenyl-5-benzimidazolesulfonic acid		x		
	2-Ethylhexyl salicylate		x		
	4-Methylbenzylidene-camphor		x		
	Avobenzone		x		
	Benzophenone-3		x		
	Octocrylene		x	x	
	Oxybenzone			x	
	Parasol		x		
Parasol MCX		x			

Fontes: (1) Eriksson *et al.* (2003)- analisados por cromatografia, (2) Etchepare *et al.* (2015)- levantados com base em revisão bibliográfica, (3) Alfiya *et al.* (2018), analisados por cromatografia (4) Mamedes *et al.* (2019), levantados com base nos rótulos de produtos de cuidado pessoal e limpeza doméstica.

Os conservantes também são adicionados à vasta maioria dos produtos químicos domésticos e cosméticos, com objetivo de evitar o crescimento de microorganismos. Por outro lado, aproximadamente 6% da população é sensível a ingredientes de cosméticos, especialmente as fragrâncias e conservantes (PASTOR-NIETO *et al.*, 2017). Entre eles estão os parabens que são usados como conservante e podem agir como desreguladores endócrinos (KORTENKAMP, 2012).

Já os filtros ultravioletas (UV) são compostos usados em protetores solares e cosméticos para prevenir a degradação química e danos à pele sob irradiação solar (MANOVA *et al.*, 2013). Apesar de terem sido levantados em menor número, também são considerados poluentes ambientais emergentes. Seu uso mundial, presença onipresente em amostras de água e atividade de desregulação endócrina de certas espécies são algumas das questões que levantaram a preocupação sobre o impacto de longo prazo dos filtros UV no meio ambiente.

Além do mais, alguns destes poluentes são bioacumuláveis, assim sendo, quando consumidos em uma cadeia alimentar podem aumentar em concentração. Como pode ser observado nos rios Haihe e Taihu, em que PEs foram detectados na água, em peixes e a bioacumulação pode ser observada em vários elementos da cadeia alimentar (HU *et al.*, 2011; ZHANG *et al.*, 2013).

Os impactos dos PEs sobre o meio ambiente são representados por problemas nos sistemas reprodutivos em peixes, aves e mamíferos, além da redução de ovos de peixes, aves e tartarugas, desregulação endócrina de peixes machos, mudanças no sistema imunológico de mamíferos marinhos, entre outros (PEDERSEN *et al.*, 1999, 2000; LEMINI *et al.*, 2004; DAMBAL *et al.*, 2017). Estes também podem influenciar a saúde humana, como a redução de espermatozoides, câncer de próstata e o aumento da incidência de câncer de mama ou endometriose para mulheres (ESPLUGAS *et al.*, 2007), embora alguns estudos não tenham mostrado uma preocupação substancial com efeito destes poluentes em humanos (CHRISTENSEN, 1998; WEBB *et al.*, 2003).

#### 4 CONCLUSÕES

Os poluentes emergentes mais frequentemente detectados neste estudo foram surfactantes, emulsionantes, fragrâncias e conservantes, que são ingredientes comuns em muitos produtos de higiene pessoal. A partir deste levantamento da literatura, pode-se concluir que há uma necessidade urgente de mais informações sobre as características de diferentes tipos de águas cinza a fim de ser capaz de avaliar o potencial de reutilização e infiltração. Também ilustra a necessidade de diferentes tipos de tratamento antes de qualquer reciclagem da água.

#### 6 REFERÊNCIAS

ALFIYA, Y.; DUBOWSKI, Y.; FRIEDLER, E. Diurnal patterns of micropollutants concentrations in domestic greywater. **Urban Water Journal**, v. 15, n. 5, p. 399-406, 2018.

BILA, D. M.; DEZOTTI, M. Pharmaceutical drugs in the environment. **Química Nova**, v. 26, n. 4, p. 523-530, 2003

CHRISTENSEN, F. M. Pharmaceuticals in the environment - A human risk?. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 28, n. 3, p. 212-221, 1998.

COUTO, E. A. do.; CALIJURI, M. L.; ASSEMANY, P. P.; SANTIAGO, A. da. F.; LOPES, L. S. Greywater treatment in airports using anaerobic filter followed by UV disinfection: an efficient and low cost alternative. **Journal of Cleaner Production**, v. 106, p. 372-379, 2015.

DAMBAL, V. Y.; SELVAN, K.P.; LITE, C.; BARATHI, S.; SANTOSH, W. Developmental toxicity and induction of vitellogenin in embryo-larval stages of zebrafish (*Danio rerio*) exposed to methyl Paraben. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 141, p. 113-118, 2017.

DAUGHTON, C. G.; TERNES, T. A. Pharmaceuticals and personal care products in the environment: agents of subtle change?. **Environmental Health Perspectives**, v. 107, sup. 6, p. 907-938, 1999.

DICKENSON, E. R. V.; SNYDER, S. A.; SEDLAK, D. L.; DREWES, J. E. Indicator compounds for assessment of wastewater effluent contributions to flow and water quality. **Water research**. v. 45, n. 3, p. 1199-1212, 2011.

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; HENZE, M.; LEDIN, A. Characteristics of grey wastewater. **Urban Water**, v. 4, n. 1, p. 85-104, 2002.

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; EILERSEN, A. M.; HENZE, M.; LEDIN, A. Household chemicals and personal care products as sources for xenobiotic organic compounds in grey wastewater. **Water-SA**, v. 29, n. 2, p. 135-146, 2003.

ESPLUGAS, S. Ozonation and advanced oxidation technologies to remove endocrine disrupting chemicals (EDCs) and pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in water effluents. **Journal of Hazardous Materials**, v. 149, n. 3, p. 631-642, 2007.

ETCHEPARE, R.; VAN DER HOEK, J. P. Health risk assessment of organic micropollutants in greywater for potable reuse. **Water Research**, v. 72, p. 186-198, 2015.

FENT, K.; WESTON A. A.; CAMINADA D. Ecotoxicology of human pharmaceuticals. **Aquatic Toxicology**, v. 76, n. 2, p. 122-159, 2006.

HU, Z.; SHI, Y.; CAI, Y. Concentrations, distribution, and bioaccumulation of synthetic musks in the Haihe River of China. **Chemosphere**, v. 84, n. 11, p. 1630-1635, 2011.

JEFFERSON, B.; PALMER, A.; JEFFREY, P.; STUETZ, R.; JUDD, E. S. Grey water characterization and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. **Water Science & Technology**, v. 50, n. 2, p. 157-164, 2004.



KORTENKAMP, A.; GOODMAN, J. E.; FOSTER, W. G.; BORGERT, C. J.; VAN DER KRAAK, G. State of the art assessment of endocrine disruptors. **Critical reviews in toxicology**, v. 42, n. 6, p. 465-473, 2012.

LEMINI, C.; HERNÁNDEZ, A.; JAIMEZ, R.; FRANCO, Y.; AVILA, M. E.; CASTELL, A. Morphometric analysis of mice uteri treated with the preservatives methyl, ethyl, propyl, and butylparaben. **Toxicology and Industrial Health**, v. 20, n. 6-10, p. 123-132, 2004.

MAMEDES, I.; ZANONI, D. A.; MATTOS, T. S.; PAULO, P. L. **Poluentes emergentes potencialmente encontrados em água cinza**. In: INTEGRA UFMS, Campo Grande, MS, 2019.

MATAMOROS, V.; ARIAS, C. A.; NGUYEN, L. X.; SALVADÓ, V.; BRIX, H. Occurrence and behavior of emerging contaminants in surface water and a restored wetland. **Chemosphere**, v. 88, n. 9, p. 1083-1089, 2012.

OTTERPOHL, R. Black, brown, yellow, grey- the new colors of sanitation. **Water** 21, p. 37-41, 2001.

PASTOR-NIETO, N. A.; ALCÁNTARA-NICOLÁS, F.; MELGAR-MOLERO, V.; PÉREZ-MESONERO, R.; VERGARA-SÁNCHEZ, A.; MARTÍN-FUENTES, A.; GONZÁLEZ-MUÑOZ, P.; DE EUSEBIO-MURILLO, E. Preservatives in Personal hygiene and cosmetic products, topical medications, and household cleaners in Spain. **Actas Dermato-Sifiliográficas**, v. 108, n. 8, p. 758-770, 2017.

PEDERSEN, K. L.; PEDERSEN, S. N.; CHRISTIANSEN, L. B.; KORSGAARD, B.; BJERREGAARD, P. The preservatives ethyl-propyl-and butylparaben are oestrogenic in an in vivo fish assay. **Pharmacology and Toxicology**, v. 86, n. 3, p. 110-113, 2000.

PETROVIC, M.; GONZALEZ, S.; BARCELO, D. Analysis and removal of emerging contaminants in wastewater and drinking water. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 22, n. 10, p. 685-696, 2003.

ROTSIDOU, M.; SCRIMSHAW, M. D. An approach for prioritizing “down-the-drain” chemicals used in the household. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 12, n. 2, p. 1351-1367, 2015.

SALGADO, R.; PEREIRA, V. J.; CARVALHO, G.; SOEIRO, R.; GAFFNEY, V.; ALMEIDA, C.; CARDOSO, V. V.; FERREIRA, E.; BENOLIEL, M. J.; TERNES, T. A.; OEHMEN, A.; REIS, M. A. M.; NORONHA, J. P. Photodegradation kinetics and transformation products of ketoprofen, diclofenac and atenolol in pure water and treated wastewater. **Journal of Hazardous Materials**, v. 244-245, p. 516-527, 2013.

SODRÉ, G. A.; MARROCOS, P. C. L.; PACHECO, R. G.; FONTES, M. I. L.; SERÓDIO, M. H.; LEMOS, M. T. O. Atributos químicos do extrato da casca do cacaueteiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado, RS. **Anais** [...] Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.



SURENDRAN, S.; WHEATLEY, A. D. Grey-water reclamation for non-potable reuse. **Water and Environment and Journal**, v. 12, n. 6, p. 406-413, 1998.

WEBB, S.; TERNES, T.; GIBERT, M.; OLEJNICZAK, K. Indirect human exposure to pharmaceuticals via drinking water. **Toxicology letters**, v. 142, n. 3, p. 157-167, 2003.

ZHANG, X. L.; XU, Q.; MAN, S.; ZENG, X.; YU, Y.; PANG, Y. ; SHENG, G.; FU, J. Tissue concentrations, bioaccumulation, and biomagnification of synthetic musks in freshwater fish from Taihu Lake, China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 20, n. 1, p. 311-322, 2013.

ZHOU, L. J.; YING, G. G.; LIU, S.; ZHAO, J. L.; YANG, B.; CHEN, Z. F.; LAI, H. J. Occurrence and fate of eleven classes of antibiotics in two typical wastewater treatment plants in South China. **The Science of the total environment**, v. 452-453, p. 365-376, 2013.

## VOLATILE COMPOSITION OF *C. XANTHOCARPA* BERG WITH OCCURRENCE IN SOUTHERN BRAZILIAN NATIONAL FOREST

Samuel A. Paz<sup>\*1</sup>, Deborah dos S. Garruti<sup>2</sup>, Hilton C. R. Magalhães<sup>2</sup>, Jéssica B. Maciel<sup>1</sup>, Elenilson G. Alves Filho<sup>3</sup>, Rossana Catie B. de Godoy<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Post-Graduation Program in Natural Sciences, State University of Ceará, \*e-mail: pazsamuel055@gmail.com.

<sup>2</sup>Embrapa Tropical Agroindustry.

<sup>3</sup>Federal University of Ceará, Department of Food Engineering.

<sup>4</sup>Embrapa Forestry.

**RESUMO:** *Campomanesia xanthocarpa* Berg, conhecida como gabioba, é um recurso botânico brasileiro com perspectivas de aplicação comercial, com base nos compostos funcionais de seus frutos. É considerado um Produto Florestal Não Madeireiro, contribuindo para a sustentabilidade das florestas nativas. A variabilidade encontrada em etnovariedades de gabioba de diferentes locais ao redor de Irati, Paraná, foi avaliada com base nos compostos voláteis por HS-SPME-GC-MS. Um total de 102 compostos voláteis foi detectado, com predominância de terpenos (78%), seguido por ésteres (8%), aldeídos (5%) e diversos (9%). A semelhança entre os perfis voláteis deveu-se à presença de 2 aldeídos, 2 álcoois, 10 monoterpenos e 18 sesquiterpenos, presentes em todos os materiais. Etnovariedades com diferentes cores de casca apresentaram composição semelhante, enquanto frutas com a mesma cor, mas provenientes de locais diferentes, apresentaram perfis muito diferentes. A gabioba possui uma matriz volátil complexa e estudos adicionais são necessários para avaliar a variabilidade genética volátil das etnovariedades.

**Palavras-chave:** Gabioba. COV. Etnovariedades.

**ABSTRACT:** *Campomanesia xanthocarpa* Berg, known as gabioba, is a Brazilian botanical resource with prospects for commercial application, based on the functional compounds of its fruits. It is considered a Non-Timber Forest Product (NTFP), contributing to the sustainability of native forests. The volatile composition found in different ethnovarieties of gabioba with different peel colors (white, yellow and red) from three different locations around Irati, Paraná, was evaluated based on the volatile compounds by HS-SPME-GC-MS. A total of 102 VOC were detected, with a predominance of terpenes (78%), followed by esters (8%), aldehydes (5%), alcohols (4%), hydrocarbons (3%) and ketones (2%). The similarity between the volatile profiles was due to the presence of 2 aldehydes, 2 alcohols, 10 monoterpenes and 18 sesquiterpenes, present in all materials. Ethnovarieties with different peel colors showed similar composition, while fruits with the same color but coming from different locations showed very different profiles. Gabioba has a complex volatile matrix and further studies are needed to assess the volatile genetic variability of the ethnovarieties.

**Keywords:** Gabioba. VOC. Ethnovarieties.

## 1 INTRODUCTION

*Campomanesia xanthocarpa* Berg belongs to the *Myrtaceae* family and is popularly known as gabioba or guabioba (PLANT LIST, 2020). It is a common species in the forests of the Southern, Southeastern and Midwestern regions of Brazil, and is also found in Uruguay, Paraguay and Argentina. According to producers living around the Southern FLONA (National Forests), gabioba is considered as the main local specie for being studied, since its leaves and pulp have been related to non-timber forest products (NTFP). Gabioba has a unique flavor and a pleasant balance between sweet and acid tastes, which is common to other *Myrtaceae* species (FARIAS *et al.*, 2020).

Flavor consists of perceptions in mouth (basic tastes) and the aroma, which is produced by several volatile organic compounds (OSORIO; MUÑOZ; VALPUETA, 2010).

Many factors affect volatile composition, including genetic inheritance, stage of maturity, environmental conditions, postharvest handling and storage (EL HADI *et al.*, 2013). The aim of this study was to evaluate the composition of volatile compounds of three ethnovarieties of *Campomanesia xanthocarpa* (Mart.) O. Berg with occurrence in difference locations around a National Forest in the Paraná State, generating knowledge to support the breeding program and guide the rational use of its commercialization and industrialization.

## 2 MATERIALS AND METHODS

### 2.1 Material

Three ethnovarieties of gabioba with different peel colors were donated by local communities. The samples came from locations in the municipality of Irati, State of Paraná, Brazil, as follows: Inhapinhazal (white and red peel), Pinho de Baixo (white and yellow peel), and Coxinho (white peel). The fruits were collected at the same maturation stage, packed, stored under  $-18^{\circ}$  and sent to for analysis.

### 2.2 Volatile compounds and Multivariate statistical analysis

The volatile compounds were extracted by HS-SPME using fiber (DVB/CAR/PDMS). The determination of volatile compounds from the headspace was performed using gas chromatograph Agilent 7890B coupled to a quadrupole mass detector (Agilent 5977A). The vials were incubated at  $35^{\circ}\text{C}$  for 5 min for equilibration, then SPME fiber was inserted into the headspace and exposed for 60 min. The injections were performed in a Combipal automatic sampler (CTC Analytics). The separation of compounds was carried out in RTX-5 column ( $30\text{ m} \times 0.25\text{ mm i.d.} \times 0.25\text{ }\mu\text{m}$ ). The oven temperature program started at  $35^{\circ}\text{C}$  for 5 min, increased to  $120^{\circ}\text{C}$  at  $2^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , then to  $230^{\circ}\text{C}$  at  $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$  and to  $250^{\circ}\text{C}$  at  $7^{\circ}\text{C}/\text{min}$ .

The carrier gas was helium at 1 mL/min. The interface's temperature was 250 °C. Identification was performed by comparison of the mass spectra obtained to those provided by the NIST library v. 1.6. Additionally, the experimental linear retention index (LRI) was determined with a homologue mixture of n-alkanes. For the exploratory evaluation of volatile organic composition (VOC) related to different peel color and sampling locals, the signals areas (integration) from each identified compound was used for numerical matrix construction. The unsupervised chemometric method by Principal Component Analysis (PCA) was developed using the PLS Toolbox™ software (version 8.6.2, Eigenvector Research Incorporated).

The data was autoscaled and the SVD (Singular Value Decomposition) algorithm was applied to decompose the matrix to scores and loadings for exploratory modeling, and the relevant information were obtained at the first two Principal Components (2 PC).

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

Volatile organic compounds (VOC) detected in gabioba fruits with different peel colors and from different locations showed a total of 102 compounds. Terpenes were the main chemical class (23 monoterpenes, 50 sesquiterpenes and 7 unidentified), equivalent to 78% of volatile profile, followed by esters (8%), aldehydes (5%), and diverse (9%).

The volatile composition varied among the fruits, with 25 compounds being reported in only one or two samples. Red fruits showed the poorest volatile profile, with only 60 detected compounds, followed by the yellow fruits (67), while white fruits showed richer profiles (77 to 87). The similarity between gabioba profiles was due to the presence of 2 aldehydes, 10 monoterpenes and 18 sesquiterpenes. The sesquiterpene group presented the major compounds, namely  $\beta$ -caryophyllene,  $\alpha$ -humulene ( $\alpha$ -caryophyllene),  $\gamma$ -gurjunene,  $\beta$ -elemene,  $\delta$ -cadinene, and  $\alpha$ -copaene. Among the monoterpenes, linalool,

$\alpha$ -pinene,  $\beta$ -pinene and limonene were the most abundant. The identification of a wide variety of compounds with eudesmane skeleton was highlighted.

The predominance of terpenic compounds have also been reported in the essential oil of *C. xanthocarpa*, collected in the State Forest of Assis, SP, Brazil, with  $\alpha$ -pinene (15.0%), o-cymene (10.8%) and  $\beta$ -pinene (10.5%) being the major compounds (VALLILO *et al.*, 2008). Essential oils of different gabirola genotypes from Rio Grande do Sul State was evaluated by Marin *et al.* (2008). The vast majority were also terpenic compounds, being 23% monoterpenes and 69% sesquiterpenes. Ferreira *et al.* (2016) investigated the key-odor compounds in gabirola fruits grown in the same Brazilian State, but in another region.

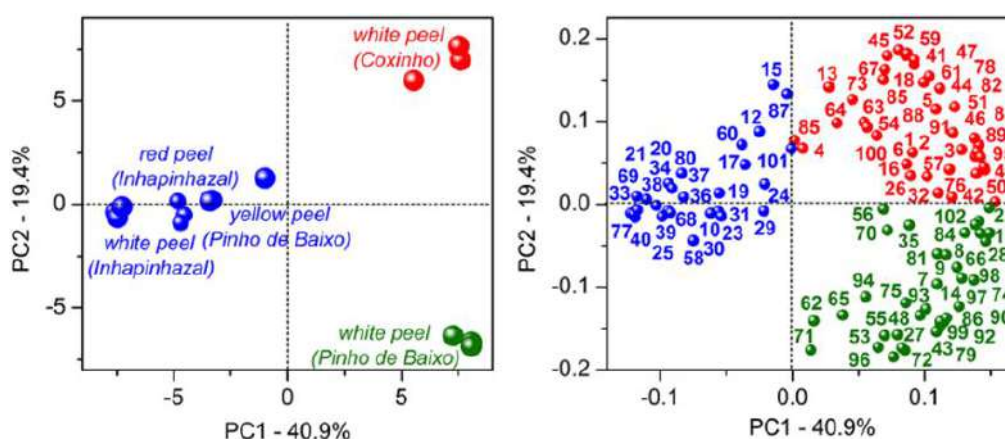
The volatile profile was quite different. Although terpenes and esters were predominant in number of compounds, the most abundant classes were alcohol (33% of total area), aldehydes (24%) and esters (21%), with a large amount of C6 compounds. However, the class of terpenes presented 12 odoriferous compounds detected by Osme GC-olfactometry technique, with a total area of 23.9% in the gabirola aromagram, contributing mainly to odors as woody and floral.

Due to the elevate number of compounds in gabirola pulps, an unsupervised statistical method by PCA was developed on the signals area in order to explore the VOC variability. Figura 1 illustrates the PC1  $\times$  PC2 scores, which retained 60.3% of the total variance. Samples from Inhapinhazal (white and red) and Pinho de Baixo (yellow) clustered at negative scores of PC1 (blue color) by the high amounts of most monoterpenes, com important odoriferous compounds determined in gabirola fruits by Ferreira *et al.* (2016) using GC-Olfactometry technique, as eucalyptol (25), described as mint and fresh odor, and  $\beta$ -linalool (34; floral, citric, sweet).

White gabirola fruits from Pinho de Baixo and Coxinho were plotted in positive PC1 scores by the highest concomitant values of all the remaining VOCs. Particularly, Pinho de Baixo fruits had negative PC2 scores (green) due to high amounts of alcohol, aldehydes, esters and terpenes. Among these compounds,  $\gamma$ -eudesmol (93) and  $\beta$ -eudesmol (98) are particularly important for the characteristic aroma of gabirola,

presenting woody odor (FERREIRA *et al.*, 2016). White fruits from Coxinho in positive scores of PC2 highlighted by the high amounts of several gabioba odor-active compounds (FERREIRA *et al.*, 2016): hexanal (1, green, leafy), ethyl butanoate (2, sweet, fruity), (E)-3-hexen-1-ol (5, green), 2-ethyl-1-hexanol (26, ethereal, sweet), (Z)-linalool oxide (32, floral, sweet), and  $\beta$ -caryophyllene oxide (78, ethereal, sweet). Especially important to differentiate white fruits from these two locations were monoterpenes  $\beta$ -thujene (13) and (Z)-linalool oxide (32), along with sesquiterpenes isolekene (52),  $\delta$ -guaiene (64),  $\alpha$ -muurolene (67),  $\gamma$ -cadinene (73), and ledol (85), which were not detected in Pinho de Baixo white fruits. Most of the remaining compounds in positive scores of P1 and PC2 in white gabioba from Coxinho location were sesquiterpenes.

**Figure 1 - PCA results of COV (area counts) of gabioba fruits with different peel colors from different sampling locations: a) PC1  $\times$  PC2 scores coordinate system of the gabioba samples; b) respective loadings (PC1  $\times$  PC2)**



#### 4 CONCLUSION

This is the first time such a group of gabioba samples from the Brazilian South region has been studied for variations in composition of volatile compound profiles. Among the trends observed in the sample set was that the ethnovarieties with different



peel colors may have similar composition, while fruits with the same color but coming from different locations may have very different profiles, indicating that the color of the peel probably is not indicative of a real variety. However, these findings will be useful to plant breeders by bringing to their attention the potential diversity and similarities among gabiropa genotypes.

## 5 ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária and CAPES.

## 6 REFERÊNCIAS

EL HADI, M. A. M.; ZHANG, F. J.; WU, F. F.; ZHOU, C. H.; TAO, J. Advances in fruit aroma volatile research. **Molecules**, v. 18, n. 7, p. 8200-8229, 2013.

FARIAS, D. P.; NERI-NUMA, I. A.; DE ARAÚJO, F. F.; PASTORE, G. M. A critical review of some fruit trees from the Myrtaceae family as promising sources for food applications with functional claims. **Food Chemistry**, v. 306, p. 1-17, 2020.

FERREIRA, D. F.; GARRUTI, D. S.; BARIN, J. S.; CICHOSKI, A. J.; WAGNER, R. Characterization of odor-active compounds in gabiropa fruits (*Campomanesia xanthocarpa* O. Berg). **Journal of Food Quality**, v. 39, n. 2, p. 90-97, 2016.

MARIN, R.; APEL, M. A.; LIMBERGER, R. P.; RASEIRA, M. C.; PEREIRA, J. F.; ZUANAZZI, J. A.; HENRIQUES, A. T. Volatile components and antioxidant activity from some myrtaceous fruits cultivated in Southern Brazil. **Latin American Journal of Pharmacy**, v. 27, n. 2, p. 172-177, 2008.

OSORIO, S.; MUÑOZ, C.; VALPUESTA, V. Physiology and biochemistry of fruit flavors. *In*: HUI, Y. H.; CHEN, F.; NOLLET, L. M. L.; GUINÉ, R. P. F.; MARTÍN-BELLOSO, O.; MÍNGUEZ-MOSQUERA, M. I.; PALIYATH, G.; PESSOAS, F. L. P.; LE QUÉRÉ, J. L.; SIDHU, J. S.; SIDHU, N.; SINHA, P. Stanfield (Ed.) **Handbook of fruit and vegetable flavors**. New Jersey: Wiley, 2010. p. 25-43.

THE PLANT LIST (Ed.). **Campomanesia xanthocarpa (Mart.) O.Berg**. 2019. Available in: <http://www.theplantlist.org/tp1.1/record/kew-33281>. Accessed: 14 apr. 2019.

VALLILO, M. I.; MORENO, P. R. H.; DE OLIVEIRA, E.; LAMARDO, L. C.; GARBELOTTI, M. L. Composição química dos frutos de *Campomanesia xanthocarpa* Berg-Myrtaceae. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 231-237, 2008.



## ORGANIZAÇÃO

