

A PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO NAS ENGENHARIAS

NOVAS FRONTEIRAS, TECNOLOGIAS E DESAFIOS

ORGANIZADORES
Manoel Mariano Neto
Higor Costa de Brito



AMPLLA
EDITORA



A PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO NAS ENGENHARIAS

NOVAS FRONTEIRAS, TECNOLOGIAS E DESAFIOS

ORGANIZADORES
Manoel Mariano Neto
Higor Costa de Brito



AMPLLA
EDITORA



2022 - Editora Amplla

Copyright © Editora Amplla

Editor Chefe: Leonardo Pereira Tavares

Design da Capa: Editora Amplla

Diagramação: Higor Costa de Brito

A produção do conhecimento nas engenharias: novas fronteiras, tecnologias e desafios está licenciado sob CC BY 4.0.



Esta licença exige que as reutilizações deem crédito ao criador. Ele permite que os reutilizadores distribuam, remixem, adaptem e construam o material em qualquer meio ou formato, mesmo para fins comerciais.

O conteúdo da obra e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, não representando a posição oficial da Editora Amplla. É permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores. Todos os direitos para esta edição foram cedidos à Editora Amplla.

ISBN: 978-65-5381-021-1

DOI: 10.51859/amplla.pce2111-0

Editora Amplla

Campina Grande – PB – Brasil
contato@ampllaeditora.com.br
www.ampllaeditora.com.br



2022

CONSELHO EDITORIAL

Andréa Cátia Leal Badaró – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Andréia Monique Lermen – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Antoniele Silvana de Melo Souza – Universidade Estadual do Ceará
Aryane de Azevedo Pinheiro – Universidade Federal do Ceará
Bergson Rodrigo Siqueira de Melo – Universidade Estadual do Ceará
Bruna Beatriz da Rocha – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais
Bruno Ferreira – Universidade Federal da Bahia
Caio César Costa Santos – Universidade Federal de Sergipe
Carina Alexandra Rondini – Universidade Estadual Paulista
Carla Caroline Alves Carvalho – Universidade Federal de Campina Grande
Carlos Augusto Trojaner – Prefeitura de Venâncio Aires
Carolina Carbonell Demori – Universidade Federal de Pelotas
Cícero Batista do Nascimento Filho – Universidade Federal do Ceará
Clécio Danilo Dias da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Dandara Scarlet Sousa Gomes Bacelar – Universidade Federal do Piauí
Daniela de Freitas Lima – Universidade Federal de Campina Grande
Darlei Gutierrez Dantas Bernardo Oliveira – Universidade Estadual da Paraíba
Denise Barguil Nepomuceno – Universidade Federal de Minas Gerais
Diogo Lopes de Oliveira – Universidade Federal de Campina Grande
Dylan Ávila Alves – Instituto Federal Goiano
Edson Lourenço da Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
Elane da Silva Barbosa – Universidade Estadual do Ceará
Érica Rios de Carvalho – Universidade Católica do Salvador
Fernanda Beatriz Pereira Cavalcanti – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Gabriel Gomes de Oliveira – Universidade Estadual de Campinas
Gilberto de Melo Junior – Instituto Federal do Pará
Givanildo de Oliveira Santos – Instituto Brasileiro de Educação e Cultura
Higor Costa de Brito – Universidade Federal de Campina Grande
Isabel Fontgalland – Universidade Federal de Campina Grande
Isane Vera Karsburg – Universidade do Estado de Mato Grosso
Israel Gondres Torné – Universidade do Estado do Amazonas
Ivo Batista Conde – Universidade Estadual do Ceará
Jaqueline Rocha Borges dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Jessica Wanderley Souza do Nascimento – Instituto de Especialização do Amazonas
João Henriques de Sousa Júnior – Universidade Federal de Santa Catarina
João Manoel Da Silva – Universidade Federal de Alagoas
João Vitor Andrade – Universidade de São Paulo
Joilson Silva de Sousa – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
José Cândido Rodrigues Neto – Universidade Estadual da Paraíba
Jose Henrique de Lacerda Furtado – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Josenita Luiz da Silva – Faculdade Frassinetti do Recife
Josiney Farias de Araújo – Universidade Federal do Pará
Karina de Araújo Dias – SME/Prefeitura Municipal de Florianópolis
Katia Fernanda Alves Moreira – Universidade Federal de Rondônia
Laís Portugal Rios da Costa Pereira – Universidade Federal de São Carlos
Laíze Lantyer Luz – Universidade Católica do Salvador
Lindon Johnson Pontes Portela – Universidade Federal do Oeste do Pará
Lucas Araújo Ferreira – Universidade Federal do Pará
Lucas Capita Quarto – Universidade Federal do Oeste do Pará
Lúcia Magnólia Albuquerque Soares de Camargo – Unifacisa Centro Universitário
Luciana de Jesus Botelho Sodrê dos Santos – Universidade Estadual do Maranhão



Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Luiza Catarina Sobreira de Souza – Faculdade de Ciências Humanas do Sertão Central
Manoel Mariano Neto da Silva – Universidade Federal de Campina Grande
Marcelo Alves Pereira Eufrazio – Centro Universitário Unifacisa
Marcelo Williams Oliveira de Souza – Universidade Federal do Pará
Marcos Pereira dos Santos – Faculdade Rachel de Queiroz
Marcus Vinicius Peralva Santos – Universidade Federal da Bahia
Marina Magalhães de Moraes – Universidade Federal do Amazonas
Mário César de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia
Michele Antunes – Universidade Feevale
Milena Roberta Freire da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Nadja Maria Mourão – Universidade do Estado de Minas Gerais
Natan Galves Santana – Universidade Paranaense
Nathalia Bezerra da Silva Ferreira – Universidade do Estado do Rio Grande do Norte
Neide Kazue Sakugawa Shinohara – Universidade Federal Rural de Pernambuco
Neudson Johnson Martinho – Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Mato Grosso
Patrícia Appelt – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Paula Milena Melo Casais – Universidade Federal da Bahia
Paulo Henrique Matos de Jesus – Universidade Federal do Maranhão
Rafael Rodrigues Gomides – Faculdade de Quatro Marcos
Reângela Cíntia Rodrigues de Oliveira Lima – Universidade Federal do Ceará
Rebeca Freitas Ivanicska – Universidade Federal de Lavras
Renan Gustavo Pacheco Soares – Autarquia do Ensino Superior de Garanhuns
Renan Monteiro do Nascimento – Universidade de Brasília
Ricardo Leoni Gonçalves Bastos – Universidade Federal do Ceará
Rodrigo da Rosa Pereira – Universidade Federal do Rio Grande
Sabrynna Brito Oliveira – Universidade Federal de Minas Gerais
Samuel Miranda Mattos – Universidade Estadual do Ceará
Shirley Santos Nascimento – Universidade Estadual Do Sudoeste Da Bahia
Silvana Carloto Andres – Universidade Federal de Santa Maria
Sílvia de Almeida Junior – Universidade de Franca
Tatiana Paschoalette R. Bachur – Universidade Estadual do Ceará | Centro Universitário Christus
Telma Regina Stroparo – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Thayla Amorim Santino – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Virgínia Maia de Araújo Oliveira – Instituto Federal da Paraíba
Virginia Tomaz Machado – Faculdade Santa Maria de Cajazeiras
Walmir Fernandes Pereira – Miami University of Science and Technology
Wanessa Dunga de Assis – Universidade Federal de Campina Grande
Wellington Alves Silva – Universidade Estadual de Roraima
Yáscara Maia Araújo de Brito – Universidade Federal de Campina Grande
Yasmin da Silva Santos – Fundação Oswaldo Cruz
Yuciara Barbosa Costa Ferreira – Universidade Federal de Campina Grande





2022 - Editora Amplla

Copyright © Editora Amplla

Editor Chefe: Leonardo Pereira Tavares

Design da Capa: Editora Amplla

Diagramação: Higor Costa de Brito

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A produção do conhecimento nas engenharias [livro eletrônico]:
novas fronteiras, tecnologias e desafios / organização
Manoel Mariano Neto, Higor Costa de Brito. -- Campina Grande :
Editora Amplla, 2022.
168 p.

Formato: PDF

ISBN: 978-65-5381-021-1

1. Saneamento. 2. Meio ambiente. 3. Materiais poliméricos.
4. Recursos naturais. 5. Engenharia. I. Mariano Neto, Manoel.
II. Brito, Higor Costa de. III. Título.

CDD-628

Sueli Costa - Bibliotecária - CRB-8/5213
(SC Assessoria Editorial, SP, Brasil)

Índices para catálogo sistemático:

1. Engenharia : Proteção ambiental 628

Editora Amplla

Campina Grande – PB – Brasil
contato@ampllaeditora.com.br
www.ampllaeditora.com.br



2022



PREFÁCIO

A área de “engenharia” compreende diversos segmentos de grande importância para a qualidade de vida da população, que usufrui dos serviços prestados pelos profissionais do setor e desfrutam do ambiente no qual as atividades são desenvolvidas.


Dada a ascensão alcançada nos últimos anos, a engenharia tem se tornado sinônimo de desenvolvimento. Especialmente nos países emergentes, como o Brasil, a engenharia é essencial para ampliação da infraestrutura, desenvolvimento de novas tecnologias, melhoria dos serviços ofertados à sociedade e para a resolução de problemas que permeiam os meios social, econômico e ambiental.


Logo, é notória a necessidade de expandir as discussões realizadas nesse âmbito, de modo a possibilitar uma maior interação da sociedade com os meios de atuação da engenharia. Assim, o livro, “A produção do conhecimento nas engenharias: novas fronteiras, tecnologias e desafios” reúne 13 capítulos que permitem aos leitores a construção de reflexões acerca relação da engenharia com a criação de novos produtos e o controle da qualidade, o uso de recursos naturais, com a qualidade e o saneamento ambiental.

Ao longo dos sete primeiros capítulos são discutidos aspectos pertinentes ao saneamento e meio ambiente, com destaque a indicadores do saneamento básico, qualidade de água, vulnerabilidade à ocorrência de inundações, alterações do solo, danos ambientais provenientes da disposição de resíduos sólidos e a contaminação de mananciais subterrâneos e superficiais. Dar-se destaque ao emprego do geoprocessamento e do sensoriamento remoto para abordagem das problemáticas elencadas.

Posteriormente, nos dois capítulos seguintes, discute-se as técnicas de caracterização de materiais poliméricos. Na sequência, são abordadas as propriedades e aplicações de óleos essenciais, e as características físico-químicas, importantes para determinar a qualidade de méis produzidos e comercializados.

Os dois últimos capítulos da obra destinam-se a analisar a viabilidade de produtos alternativos para produção de biocombustíveis e a importância dos minérios





de ferro e cobre para a economia brasileira. Os trabalhos apresentados denotam revisões bibliográficas e estudos empíricos sobre os temas citados.

Os organizadores do livro, assim como os autores dos capítulos, esperam que os trabalhos aqui apresentados possam contribuir para a construção de novas reflexões e pesquisas orientadas às engenharias.


Desejamos a todos uma boa leitura!

Manoel Mariano Neto

*Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária
Mestre em Planejamento e Dinâmicas Territoriais no Semiárido
Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental*

Higor Costa de Brito

*Bacharel em Engenharia Civil
Mestre em Engenharia Civil e Ambiental
Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental*



SUMÁRIO

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO I - ANÁLISE TEMPORAL DOS INDICADORES DE SANEAMENTO BÁSICO POR GEOPROCESSAMENTO | 9 |
| CAPÍTULO II - ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À INUNDAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ESTÂNCIA (SE) POR TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO..... | 22 |
| CAPÍTULO III - ANÁLISE ESPACIAL DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO COCHOS DO MUNICÍPIO DE IGARACY, PARAÍBA, BRASIL..... | 32 |
| CAPÍTULO IV - AQUÍFEROS CONTAMINADOS POR AGROTÓXICOS: METODOLOGIAS PARA MONITORAMENTO..... | 43 |
| CAPÍTULO V - DANOS AMBIENTAIS GERADOS PELA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL..... | 53 |
| CAPÍTULO VI - ALTERAÇÕES QUÍMICAS E ECOTOXICOLÓGICAS EM ÁGUAS DE CAVAS DE MINERAÇÃO..... | 67 |
| CAPÍTULO VII - ALTERAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DE SOLOS APÓS A APLICAÇÃO DE PESTICIDAS: PROBLEMAS E SOLUÇÕES..... | 76 |
| CAPÍTULO VIII - APLICAÇÕES DA ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PARA CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS: UMA REVISÃO | 85 |
| CAPÍTULO IX - A TÉCNICA DE DIFRAÇÃO DE RAIOS X APLICADA A CARACTERIZAÇÃO DE POLÍMEROS: UMA REVISÃO | 100 |
| CAPÍTULO X - SCREENING FITOQUÍMICO E ATIVIDADE FUNGICIDA DAS NANOEMULSÕES DOS ÓLEOS ESSENCIAIS E EXTRATOS HIDROALCÓOLICOS DAS FOLHAS DE <i>OCIMUM CITRIODORUM</i>L. | 112 |
| CAPÍTULO XI - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS MÉIS PRODUZIDOS E COMERCIALIZADOS NO ESTADO DE ALAGOAS, BRASIL | 123 |
| CAPÍTULO XII - ESTUDO BROMATOLÓGICO E HIDRÓLISE ÁCIDA DA BATATA-DOCE (<i>IPOMOEA BATATAS</i>) PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL DE SEGUNDA GERAÇÃO | 140 |
| CAPÍTULO XIII - A IMPORTÂNCIA DO FERRO (FE) E COBRE (CU) PARA A MINERAÇÃO NO BRASIL | 152 |

ANÁLISE TEMPORAL DOS INDICADORES DE SANEAMENTO BÁSICO POR GEOPROCESSAMENTO

TEMPORAL ANALYSIS OF BASIC SANITATION INDICATORS BY GEOPROCESSING

DOI: 10.51859/AMPLA.PCE2111-1

Daniel Rodrigues dos Santos ¹
Paulo Sérgio de Rezende Nascimento ²

¹ Graduando do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Sergipe – UFS

² Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Sergipe – UFS

RESUMO

O uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) aplicado aos indicadores de saneamento vem se tornando uma ferramenta fundamental para os gestores públicos, proporcionando autonomia nos processos de compatibilização, articulação e atualização de dados. Este estudo tem por intuito analisar as condições do saneamento básico por meio de técnicas de geoprocessamento na região da Microrregião de Propriá no estado de Sergipe. Assim, foram confeccionados mapas temáticos no *software* livre e gratuito QGIS a partir da espacialização de cinco indicadores do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), analisados para os anos de 2017 e 2019, a saber: (i) índice de atendimento urbano de água, (ii) índice de coleta de esgoto, (iii) massa coletada per capita em relação à população urbana e (iv) taxa de cobertura de serviço de coleta domiciliar direta da população urbana do município. As análises não evidenciaram mudanças significativas diante dos indicadores do SNIS, pois constatou-se que com o crescimento populacional urbano, houve uma piora nos serviços públicos de saneamento, especialmente nas áreas que já haviam deficiências. Com isso, foi possível evidenciar que é necessário a aplicação de medidas de fiscalização e controle nos serviços prestados.

Palavras-chave: Esgotamento Sanitário. Indicadores de Saneamento. Coleta de Esgoto.

ABSTRACT

The use of Geographic Information Systems (GIS) applied to sanitation indicators has become a fundamental tool for public managers, providing autonomy in the processes of compatibility, articulation and updating of data. This study aims to analyze the conditions of basic sanitation through geoprocessing techniques in the region of the Microregion of Propriá in the state of Sergipe. Thus, thematic maps were made in the free software QGIS from the spatialization of five indicators of the National Sanitation Information System (SNIS), analyzed for the years 2017 and 2019, namely: (i) urban service index of water, (ii) sewage collection rate, (iii) mass collected per capita in relation to the urban population and (iv) coverage rate of direct household collection service of the urban population of the municipality. The analyzes did not show significant changes in relation to the SNIS indicators, as it was found that with the urban population growth, there was a worsening in public sanitation services, especially in areas that already had deficiencies. With this, it was possible to show that it is necessary to apply inspection and control measures in the services provided.

Keywords: Sanitary Sewage. Sanitation Indicators. Sewage Collection.

1. INTRODUÇÃO

Entende-se como saneamento básico, um conjunto de ações específicas voltadas para o abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e manejo de resíduos sólidos, cujo serviço é um direito essencial ao cidadão e seu acesso é imprescindível para a qualidade de vida de toda população. Desta forma, fica claro que o saneamento básico está intrinsecamente ligado a uma questão de saúde pública (MASSA; CHIAVEGATTO FILHO, 2020; FAGANELLO; FIUZA NETO, 2021). O saneamento básico envolve a atuação de múltiplos agentes em uma ampla rede institucional interligada pela qualidade de vida, saúde, educação, trabalho e ambiente (PEREIRA; TEOBALDO, 2021).

No Brasil, esses quatro itens inerentes ao serviço público estão garantidos pela Constituição Federal de 1988, sendo estabelecidos pela Lei nº 11.445/2007, que criou a Política de Saneamento Básico, e atualizados na Lei nº 14.026/2020, com o novo marco legal do Saneamento Básico. No entanto, a grande desigualdade e déficit ao acesso, principalmente em relação à coleta e tratamento de esgoto, é decorrente de investimentos insuficientes e pontuais no espaço e no tempo (LEONETI; PRADO; OLIVEIRA, 2011). Quando o acesso ao saneamento ou à infraestrutura em si é inadequado, impactos negativos são experimentados pela população e despreza a dignidade da vida humana (CARCARÁ; SILVA; MOITA NETO, 2019).

Nos últimos anos, a aplicação dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) aos indicadores de saneamento básico tornou-se uma ferramenta essencial e necessária para os gestores públicos. Os resultados geralmente são exibidos sob a forma de mapas temáticos com as informações desejadas compiladas (CALDO; FILHO, 2014), pois permite viabilizar a analisar, de forma rápida e precisa, o gerenciamento da saúde pública. Desta forma, é e de grande relevância para o planejamento urbano e rural do município no que tange as políticas de saneamento ambiental com foco nas áreas periféricas que apresentam os índices mais baixos (PEIXOTO *et al.*, 2018).

O saneamento básico é um conjunto de serviços que visam alcançar níveis aceitáveis de salubridade ambiental, em nível que incrementam a promoção e o melhoramento dos requisitos de habitabilidade em meio urbano ou rural. A informação

é um recurso estratégico para o planejamento e o desenvolvimento de municípios, estados, regiões e países (PEREIRA; TEOBALDO, 2021). É importante destacar que a diversidade regional do Brasil e a diferença de riqueza do país para o acesso aos requisitos mínimos, conferem ao Estado brasileiro políticas e ações que possibilitem o acesso e a garantia desse serviço público. Conhecer e explicar a realidade de qualquer setor é fundamental para atender às demandas da sociedade na busca pela melhoria da qualidade de vida (CONDURÚ; PEREIRA, 2017).

Os quatro elementos de serviços públicos são o esgotamento sanitário, o abastecimento de água, o manejo de resíduos sólidos e o manejo de águas pluviais (KOBAYAMA *et al.*, 2008). Tais serviços devem ser instalados de forma adequada para otimizar a regulação integral da sua prestação, bem como, propiciar melhorias à saúde pública, ao meio ambiente e ao desenvolvimento urbano (MORAES; BRITO, 2021). Os indicadores são instrumentos robustos de melhora para o planejamento e para a gestão em saneamento (RASERA *et al.*, 2017) e representam a forma de avaliação imparcial, quantificação e avaliação sobre a prestação de serviços referente às condições do local avaliado (CARCARÁ; SILVA; MOITA NETO, 2019). Ao monitorar o saneamento nos municípios, a administração pública pode planejar ações específicas, estabelecer métricas de desempenho e qualidade, além de orientar políticas públicas, destacando, assim, a importância da análise de variáveis para elaboração de indicadores de saneamento básico (NIRAZAWA; OLIVEIRA, 2018).

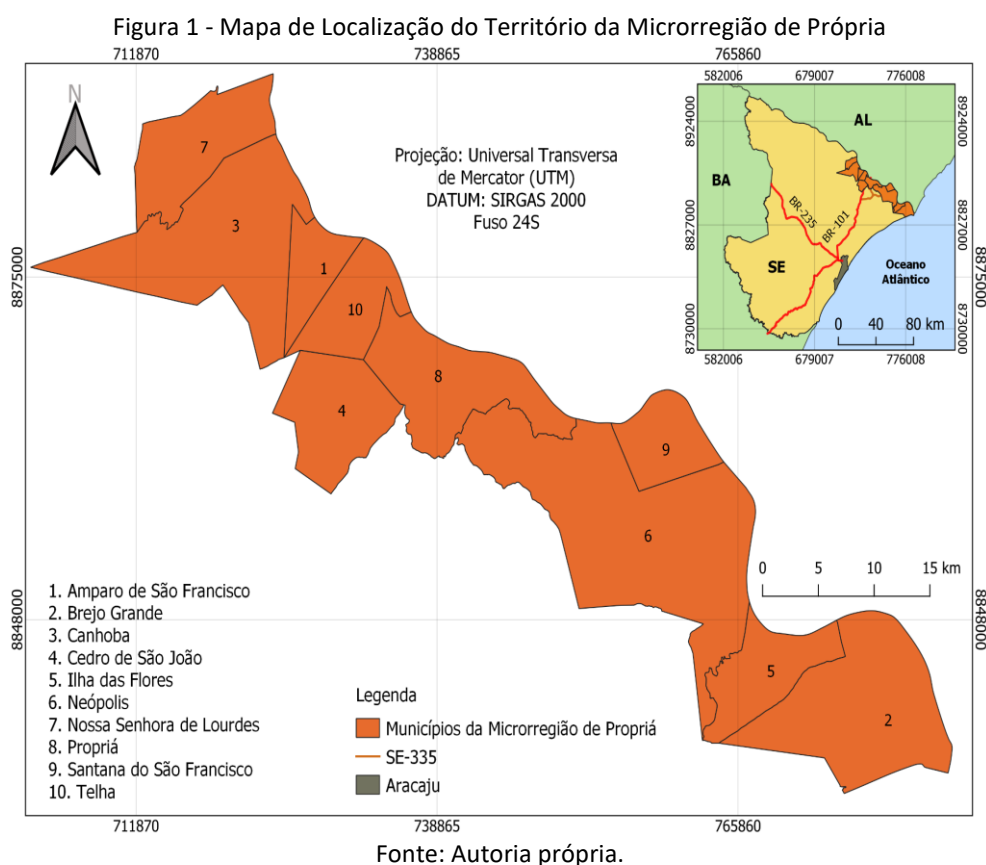
A construção de um indicador é complexa e requer diversos estudos. A Lei nº 11.445/2007 implica na necessidade de sistematizar as bases de informações e estruturas de indicadores de desempenho para fins de regulação e controle. Com o surgimento do Sistema Nacional de Informações do Saneamento (SNIS), em 1995, que regularizou as informações setoriais. Dentre as finalidades do SNIS destacam-se: planejamento e execução de políticas públicas, orientação da aplicação de recursos, conhecimento e avaliação do setor saneamento, avaliação de desempenho dos serviços, aperfeiçoamento da gestão, orientação de atividades regulatórias e de fiscalização, e exercício do controle social (SNIS, 2014).

Diante disso, este trabalho tem por objetivo analisar quatro indicadores do desempenho da prestação de serviços de saneamento básicos prestados à Microrregião de Propriá (SE), por meio de ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG),

ilustrando um panorama temático dos parâmetros analisados, colaborando na identificação das deficiências, tornando-se uma importante ferramenta para a orientação para o poder público em ações específicas.

2. MATERIAL E MÉTODO

A Microrregião de Propriá é uma das microrregiões do estado de Sergipe (Figura 1) pertencente à Mesorregião Leste Sergipano. Compreende 10 municípios (Propriá, Neópolis, Ilha das Flores, Brejo Grande, Santana do São Francisco, Nossa Senhora de Lourdes, Cedro de São João, Canhoba, Telha, Amparo de São Francisco). Possui uma área total de 1.014,9 km². Sua população é estimada em 94.780 habitantes e está dividida em dez municípios (IBGE, 2020).



2.1. COLETA DOS DADOS

Os dados para a análise dos indicadores neste estudo foram obtidos do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), sendo escolhidos os anos base de 2017 e 2019, por apresentarem mais dados para as análises das variáveis (Tabela 1).

Tabela 1 - Indicadores selecionados para o estudo na Microrregião de Própria

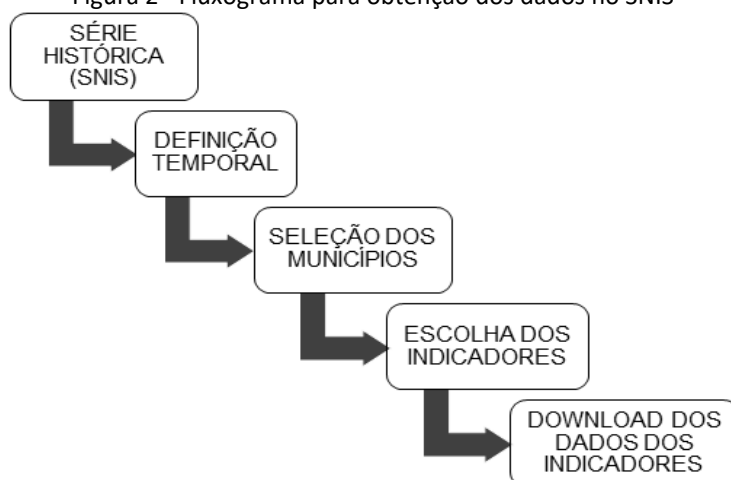
| Indicador | Sigla | Unidade |
|---|---------|------------|
| Índice de atendimento urbano de água | (IN023) | % |
| Índice de coleta de esgoto | (IN015) | % |
| Massa coletada per capita em relação à população urbana | (IN021) | kg/hab/dia |
| Taxa de cobertura do serviço de coleta domiciliar direta da população urbana do município | (IN014) | % |

Fonte: Adaptado de SNIS (2021).

2.2. ESPACIALIZAÇÃO DOS DADOS

Para o georreferenciamento, todos os dados dos indicadores foram tabulados em uma planilha eletrônica do *Microsoft Excel* a qual foi importada para o programa QGIS. A visualização espacial dos dados resultou na confecção de mapas temáticos, usando o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (*Datum* Sirgas 2000) com projeção cartográfica Universal Transversa Mercator (UTM) em fuso 24S, no qual referência o estado de Sergipe com recursos obtidos na Secretaria de Estado do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH). A figura 2 resume os procedimentos para obtenção dos dados no SNIS.

Figura 2 - Fluxograma para obtenção dos dados no SNIS



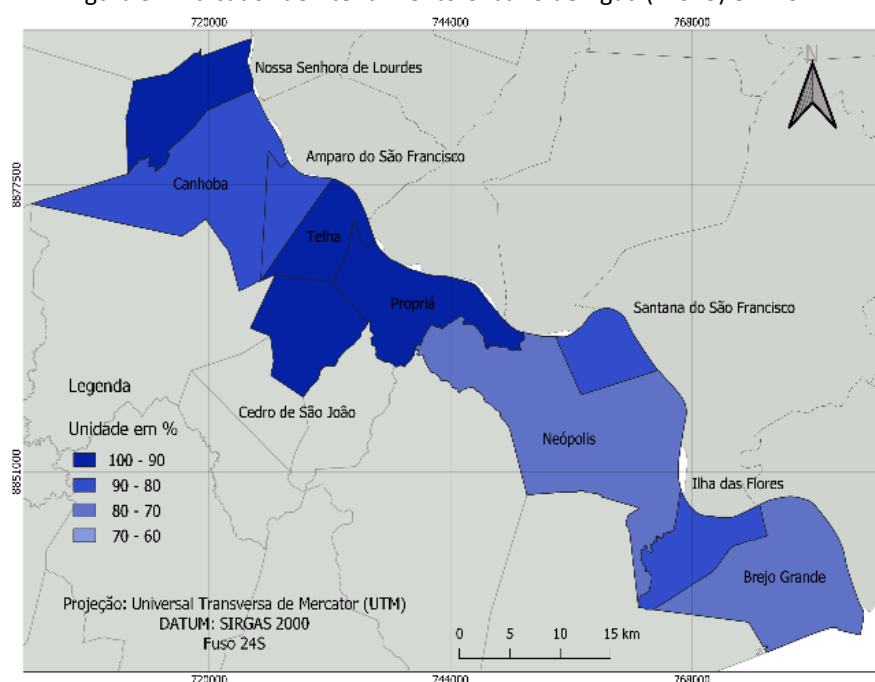
Fonte: Autoria própria.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. ÍNDICE DE ATENDIMENTO URBANO DE ÁGUA - IN023

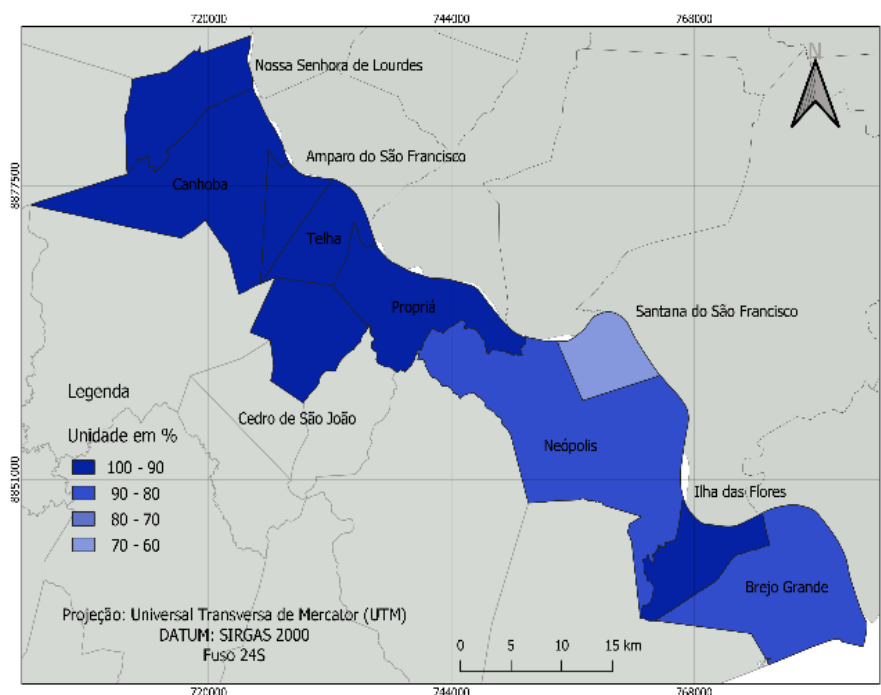
Segundo a Lei nº 14.026/2020, a universalização é conseguida com acesso à água potável de 99% de atendimento à população. Ao analisar os dados, os municípios da microrregião não apresentaram pleno atendimento neste indicador, sendo que os municípios com os maiores percentuais de atendimento, em 2017 (Figura 3), foram Propriá, Telha, Cedro de São João e Nossa Senhora de Lourdes com atendimento entre 100% a 90%, e os municípios com menos atendimentos foram Neópolis e Brejo Grande, com o atendimento entre 70 a 60%. Já no ano de 2019 (Figura 4), houve uma melhora, visto que os municípios de Canhoba e Amparo de São Francisco ampliou o atendimento. Percebe-se que o município de Amparo de São Francisco foi o único município que houve uma regressão no atendimento temporal desse índice entre 2019 e 2017.

Figura 3 - Indicador de Atendimento Urbano de Água (IN023) em 2017



Fonte: Autoria própria.

Figura 4 - Indicador de Atendimento Urbano de Água (IN023) em 2019.



Fonte: Autoria própria.

3.2. ÍNDICE DE COLETA DE ESGOTO – IN015

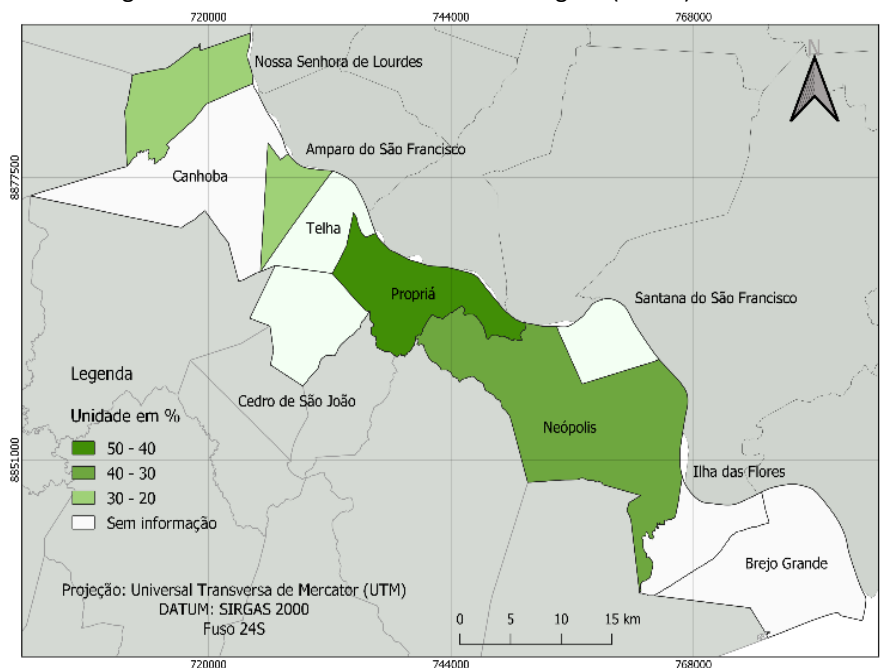
Esse índice retrata as atividades e operações de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, das ligações prediais até a sua destinação final, conforme a Lei nº 11.445 (BRASIL, 2007). Entre os quatros eixos do saneamento básico, o esgotamento sanitário é o que se mostra com maior necessidade de desenvolvimento no Brasil (SNIS, 2017), apenas 52,4% da população brasileira tem acesso à coleta de esgoto.

Com base nos dados em 2017 (Figura 5), quatro municípios não informaram dados sobre os indicadores, e consequentemente, têm ausência dos percentuais de atendimento de esgoto. Dentre os municípios que apresentam os percentuais, nenhum têm atendimento universal, sendo o menor valor apontado foi em Nossa Senhora de Lourdes Cristóvão com 23,22% e os maiores valores nos municípios de Própria com 49,8%, seguido de Neópolis com 37,7 no ano de 2017.

Nota-se que em 2019 apenas três municípios não informaram dados (Figura 6). Os maiores atendimentos foram nos municípios de Própria, Neópolis e Amparo de São Francisco. Com base no percentual é notório que grande parte da população desses

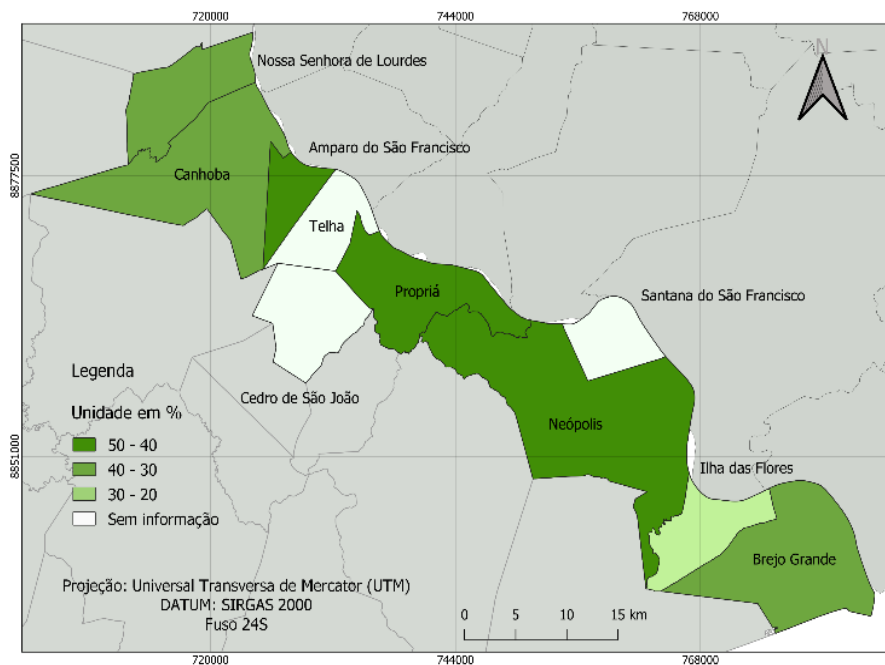
municípios ainda vive em situações precárias de esgotamento sanitário, sendo parcialmente atendidas ou não tendo acesso a nenhuma forma de coleta.

Figura 5 - Indicador de atendimento de esgoto (IN015) em 2017.



Fonte: Autoria própria.

Figura 6 - Indicador de atendimento de esgoto (IN015) em 2019



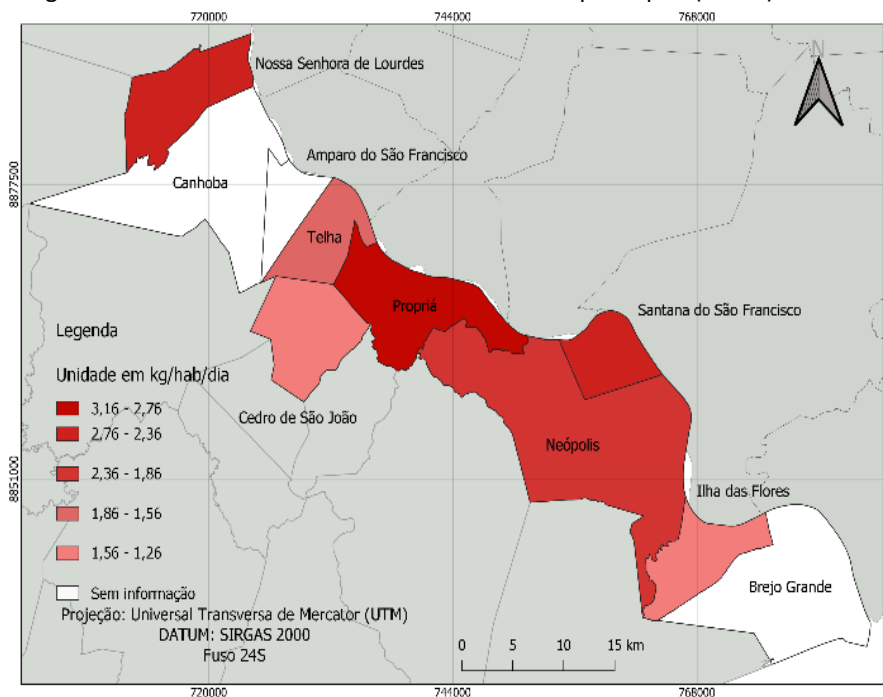
Fonte: Autoria própria.

3.3. MASSA COLETADA DE RESÍDUOS (RDO + RPU) PER CAPITA EM RELAÇÃO À POPULAÇÃO URBANA - IN021

O indicador da massa coletada per capita em relação à população urbana é de extrema importância para estipular uma comparação de eficiência da coleta de resíduos sólidos com outras regiões, levando em consideração o número de habitantes por dia. A partir das análises, os municípios de Canhoba e Brejo Grande não apresentaram os valores coletados em nenhum dos períodos analisados (Figuras 7 e 8). Já Amparo de São Francisco e Neópolis apresentaram apenas os valores de 2017 e 2019, respectivamente. O percentual do indicador de massa coletada de resíduos per capita dentre os municípios que realizaram o levantamento, três reduziram o valor do índice IN021 e apenas dois aumentaram, sendo eles Cedro de São João e Santana de São Francisco, no período de 2017 para 2019.

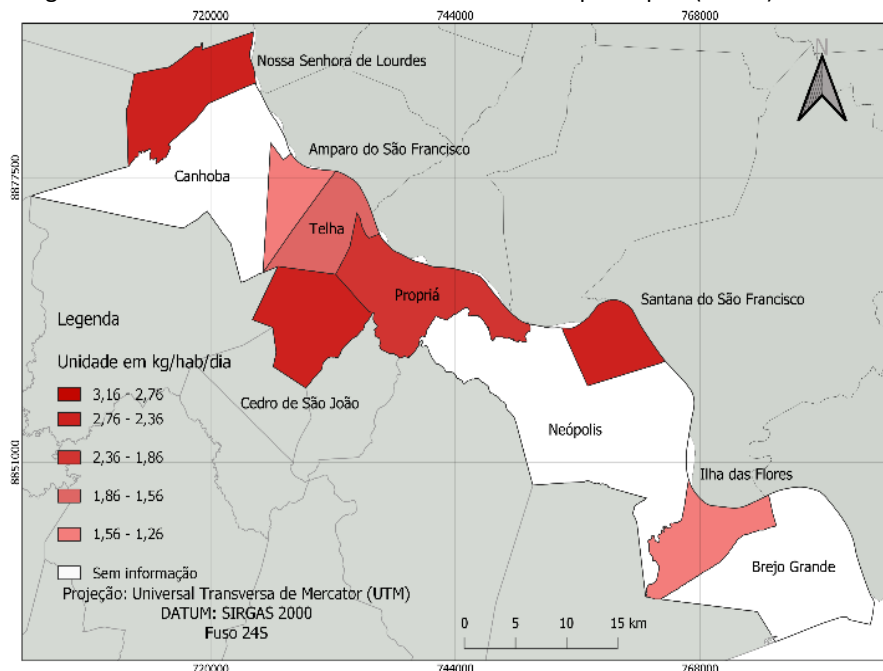
A média para o índice IN021, em 2017 foi de 1,349 kg/hab.dia e 1,76 kg/hab.dia em 2019. Esses dados são diretamente proporcionais a quantidade de investimento na Gestão de Resíduos Sólidos do município, quanto maior for o investimento, mais resíduos são coletados e maior será a média do índice IN021. A construção desse indicador leva em consideração a quantidade total de resíduos coletado de RDO (Resíduos Sólidos Domésticos) e RPU (Resíduos Sólidos Públicos), e inclui a quantidade recolhida na coleta seletiva executada por associações ou cooperativas de catadores com parceria/apoio da prefeitura (Brasil, 2014).

Figura 7 - Indicador de massa coletada de resíduos per capita (IN021) em 2017.



Fonte: Autoria própria.

Figura 8 - Indicador de massa coletada de resíduos per capita (IN021) em 2019.



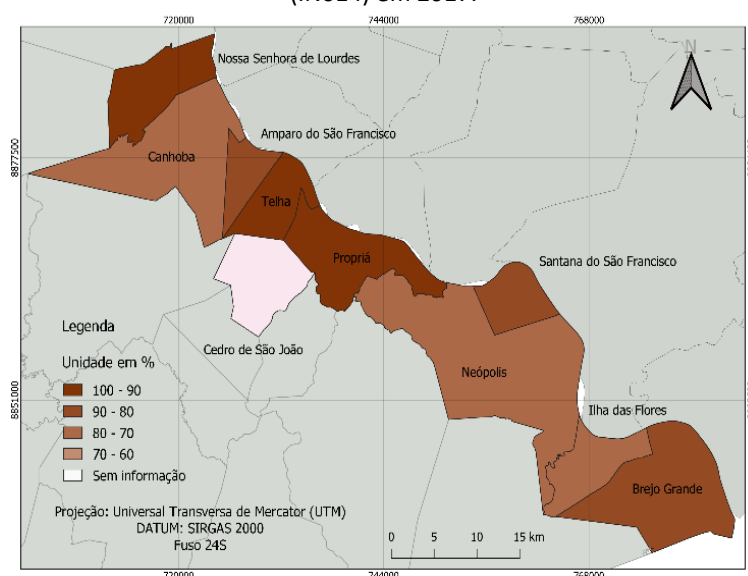
Fonte: Autoria própria.

3.4. TAXA DE COBERTURA DO SERVIÇO DE COLETA DOMICILIAR DIRETA DA POPULAÇÃO URBANA DO MUNICÍPIO - IN014

Acerca da taxa de cobertura do serviço domiciliar, entre os 10 municípios avaliados, apenas Propriá e Nossa Senhora de Lourdes mantiveram o percentual de

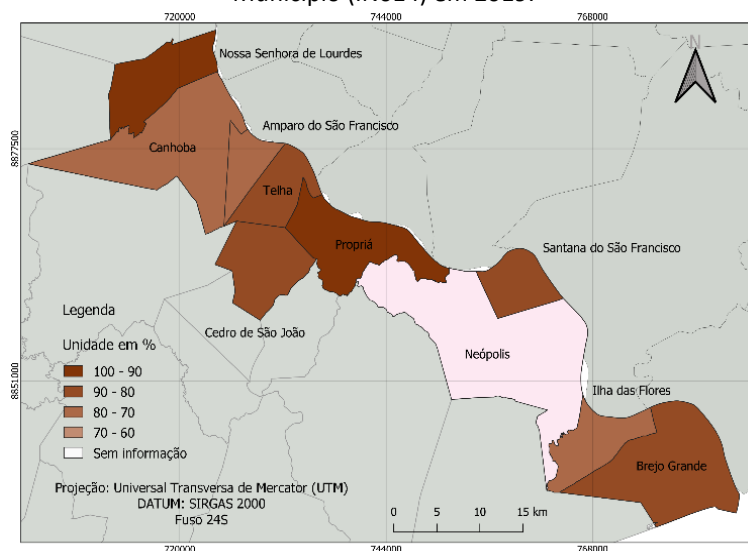
100% nos dois períodos avaliados, enquanto que município Cedro de São João e Neópolis não apresentaram os dados de 2017 e 2019 respectivamente (Figuras 9 e 10). Houve regressão na taxa de cobertura nos municípios Telha, Amparo de São Francisco e Santana de São Francisco. Ressalta-se que os demais municípios apresentaram taxas acima de 70% de atendimento e por isso esse indicador foi considerado um dos com melhor desempenho no período estudado.

Figura 9 - Indicador Cobertura do Serviço de Coleta Domiciliar Direta da População Urbana do Município (IN014) em 2017.



Fonte: Autoria própria.

Figura 10 - Indicador Cobertura do Serviço de Coleta Domiciliar Direta da População Urbana do Município (IN014) em 2019.



Fonte: Autoria própria.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após o término desse estudo, podem-se obter algumas conclusões, sendo a principal delas a constatação de falta de informações sobre o saneamento urbano por parte dos municípios, em especial sobre esgotamento sanitário e resíduo sólido. Isso sugere dificuldades na gestão e no planejamento urbano na administração pública.

Com relação às análises temporais realizadas neste trabalho, evidenciou mudanças significativas diante dos seis indicadores do SNIS. O estudo mostrou que com o crescimento populacional ocorrido de 2017 a 2019 nas áreas urbanas avaliadas, os serviços públicos de saneamento apresentaram irregularidades especialmente naqueles municípios que já exibiam problemas, sendo o principal deles a ausência de planos municipais de saneamento básico.

Constatou-se que a maioria dos municípios apresentaram índices de abastecimento superiores a 70% e em um número maior a Indicador de Atendimento Urbano de Água destacou em 80% entre os municípios analisados. Diante do exposto, os resultados obtidos demonstraram também que o geoprocessamento se torna uma ferramenta importante para o gerenciamento, controle e avaliação do sistema de saneamento nos municípios.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Lei 11.445 de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, 8 jan. 2007.
- CALDO, L. A.; MAGALHÃES FILHO. **SIG aplicado ao uso de indicadores de saneamento em municípios da Bacia do Alto Paraguai**. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 485 – 495, 2014.
- CARCARÁ, M. S. M.; SILVA, E. A.; MOITA NETO, J. M. Saneamento básico como dignidade humana: entre o mínimo existencial e a reserva do possível. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, n. 3, p. 493 - 500, 2019.
- CONDURÚ, M. T.; PEREIRA, J. A. R. Gestão da informação em saneamento básico no Estado do Pará sob o enfoque do ciclo informacional. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 6, p. 1225-1232, 2017.
- FAGANELLO, C. R. F.; FIUZA NETO, O. M. Saneamento básico: direito assegurado pela constituição deferat. **Revista Jurídica**, v. 9, p. 1 -21, 2021.

KOBIYAMA, M.; MOTA, A. A.; CORSEUIL, C. W. **Recursos Hídricos e Saneamento**. Curitiba: Organic Trading, 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010: famílias e domicílios – resultados da amostra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

LEONETI, A. B.; PRADO, E. L.; OLIVEIRA, S. V. W. B. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. **Revista de Administração Pública**, v. 45, n. 2, p. 331 - 348, 2011.

MASSA, K. H. C.; CHIAVEGATTO FILHO, A. D. P. Saneamento básico e saúde autoavaliada nas capitais brasileiras: uma análise multinível. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, v. 23, p. 1-13, 2020.

MORAES, A. A.; BRITO, A. S. Índice de saneamento básico em áreas urbanizadas: estudo de caso no município de Tarrafas/CE. **Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 18, n. 4, p. 70 – 93, 2021.

NIRAZAWA, A. N.; OLIVEIRA, S. V. W. B. Indicadores de saneamento: uma análise de variáveis para elaboração de indicadores municipais. **Revista de Administração Pública**, v. 52, n. 4, p. 753 - 763, 2018.

PEIXOTO, F. S.; FELIX NETO, J. M.; GOMES, I. N.; DIAS, G. H. Índice de saneamento ambiental da área urbana do Município de Mossoró – RN. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 06, p. 2130 – 2139, 2018.

PEREIRA D. O.; TEOBALDO, F. M. Análise da correlação entre o Indicador de Desempenho Financeiro e um Índice de Investimento com o atendimento de serviços de água e esgoto em municípios do estado do Pará, Brasil. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 15358 – 15371, 2021.

RASERA, D.; MENDES, T. G.; CETRULO, T. B.; YOSHII, M. P. C.; MALHEIROS, T. F.; MOREIRA, R. M.; MENDIZÁBAL-CORTÉS, A. D.; GUIMARÃES, E. F.. Indicadores para regulação do saneamento em áreas de Pobreza: Estrutura e Aplicação em Cubatão-SP, **Revista Ambiente e Sociedade**, v. 20, n. 4, p. 63 - 83, 2017.

SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - Ministério das Cidades. **SNIS – Séries Históricas**, 2021.

SEMARH. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. **Atlas Digital Sobre Recursos Hídricos de Sergipe**. Aracaju, SRH, 2014. (CD-ROM).

ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À INUNDAÇÃO DO MUNICÍPIO DE ESTÂNCIA (SE) POR TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO

ANALYSIS OF THE FLOODING VULNERABILITY OF THE MUNICIPALITY OF ESTÂNCIA (SE) BY REMOTE SENSING TECHNIQUES

DOI: 10.51859/AMPLLA.PCE2111-2

David Patrick Almeida Correia ¹
Paulo Sérgio de Rezende Nascimento ²

¹ Graduando do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Sergipe – UFS

² Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Sergipe – UFS

RESUMO

A suscetibilidade à inundação do município de Estância, localizado no sul sergipano, depende do índice pluviométrico e das características fisiográficas da região, como a pedologia e a geomorfologia. Por sua vez, a vulnerabilidade é ocasionada devido às ações antropogênicas, como por exemplo, a expansão urbana sem planejamento adequado e o uso inadequado do solo. Desse modo, o objetivo deste trabalho foi analisar as regiões do município sergipano de Estância mais suscetíveis e vulneráveis à inundação. Foram confeccionados os mapas das variáveis (tipo de solo, altitude, relevo, declividade, índice pluviométrico e uso e cobertura do solo), nos softwares QGIS e SPRING, para a avaliação da vulnerabilidade e suscetibilidade à inundação. Os resultados obtidos foram que a região sul do município é mais suscetível à inundação devido ao relevo mais plano com baixa declividade, altitudes baixas, presença de solos mal drenados e a grande quantidade de corpos hídricos. A presença de povoados e distritos tornam a região mais vulnerável a esse evento natural, intensificando-o pelo processo de impermeabilização do solo decorrente da urbanização ocasionando danos materiais aos municípios.

Palavras-chave: Risco geológico. Hidrologia. Geotecnologia.

ABSTRACT

The susceptibility to flooding of the municipality of Estância, located in the south of Sergipe, depends on the rainfall index and the physiographic characteristics of the region, such as pedology and geomorphology. The vulnerability is caused by human activities, such as urban sprawl without proper planning and inadequate land use. Thus, the objective of this work was to analyze the regions of the Sergipe municipality of Estância that are more susceptible and vulnerable to flooding. The maps of the variables (soil, altitude, relief, slope, pluviometric index and land use) were made using QGIS and SPRING software to assess vulnerability and susceptibility to flooding. The results obtained were that the southern region of the municipality is more susceptible to flooding due to the flatter relief with low slope, low altitudes, presence of poorly drained soils and the large amount of water bodies. The presence of villages and districts make the region more vulnerable to this natural event, intensifying it through the process of soil sealing resulting from urbanization, causing material damage to residents.

Keywords: Geological risk. Hydrology. Geotechnology.



1. INTRODUÇÃO

A inundação é definida como o transbordamento das águas de um corpo hídrico de modo a atingir as planícies de inundação ou as áreas de várzeas (LICCO; DOWELL, 2015). Apesar de ser um evento natural, acarreta diversos impactos negativos, como observado por Corsi, Azevedo e Gramani (2012). De acordo com os autores, a inundação afeta a economia de um município, a condição de vida da população e perdas no acervo e patrimônio histórico, comprovando a importância de estudos sobre este tema. A recorrência das inundações decorrente ou não das mudanças climáticas é ocasionada pelo modelo histórico de apropriação da superfície terrestre, agravado pelo capitalismo contemporâneo.

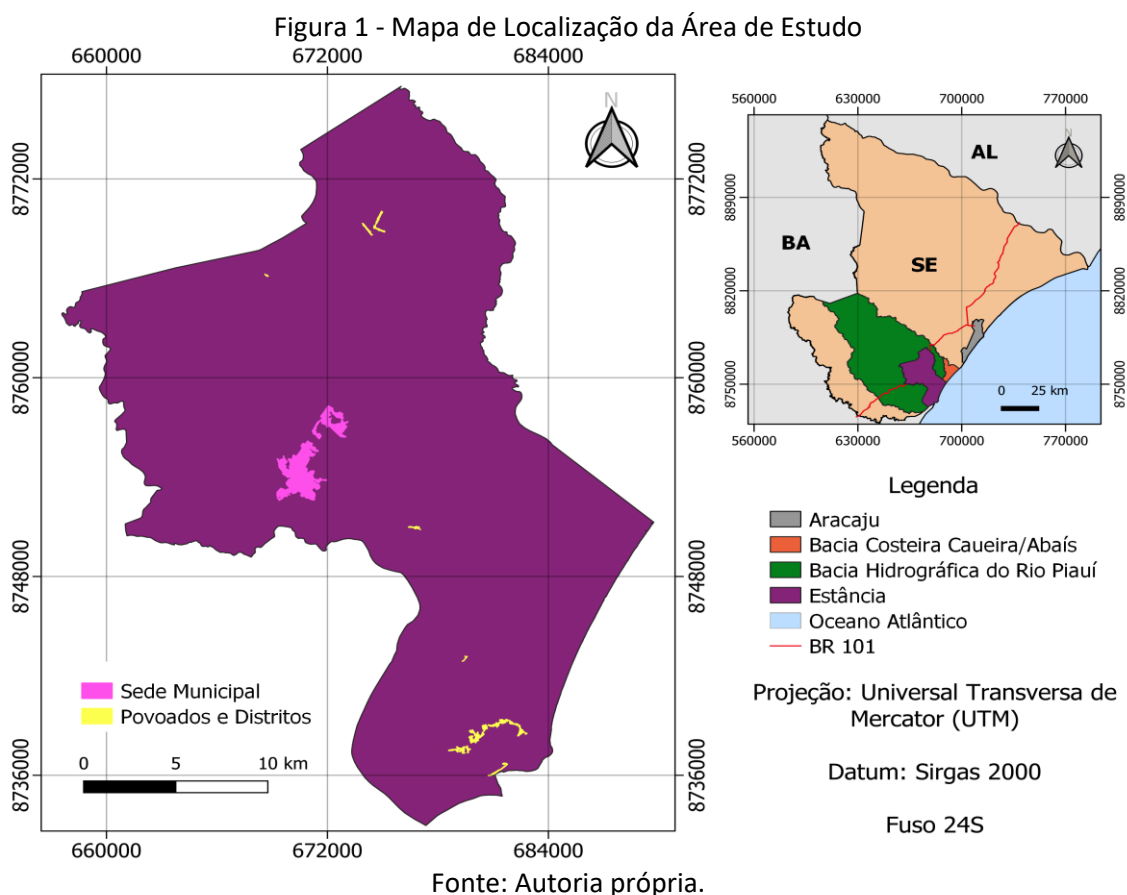
O município de Estância está localizado no sul sergipano e apresenta suscetibilidade à inundação relacionada com as características fisiográficas, como por exemplo, a geologia, geomorfologia e pedologia, que influenciam na capacidade escoamento e/ou infiltração da água no terreno. Além destes, o índice pluviométrico também tem um papel fundamental na ocorrência das inundações (SOUZA et al., 2017).

Por sua vez, a vulnerabilidade às inundações é decorrente do uso e ocupação do solo inapropriado, principalmente, a substituição das florestas por áreas agrícolas e a impermeabilização do solo provocada pelo planejamento inadequado da ocupação urbana. Licco e Dowell (2015) ressaltam que as populações menos favorecidas são as mais afetadas por estes eventos, pois essas se instalam em áreas de risco geológico, como por exemplo, encostas íngremes e desprotegidas e em margem de corpos hídricos. Essas conclusões também foram destacadas por Oliveira; Silva; Nascimento (2020); Santana; Nascimento (2020).

Desta forma, este trabalho teve como objetivo avaliar qualitativamente as regiões do município de Estância (SE) mais suscetíveis e vulneráveis à inundação, a fim de auxiliar na tomada de decisão das medidas mitigadoras pelos órgãos responsáveis, visando evitar perdas humanas e materiais e auxiliar na realocação das comunidades que estejam em áreas vulneráveis.

2. MATERIAL E MÉTODO

O município de Estância, área de estudo, possui coordenadas UTM de 8730000 e 8780000 de latitude sul e 650000 e 690000 de longitude oeste, sendo banhado pelas bacias hidrográficas do Rio Piauí e Costeira Caueira-Abaís (Figura 1).



Para a realização desse trabalho foram utilizados os softwares QGIS e SPRING. Através destes programas de geoprocessamento, foram confeccionados mapas temáticos de pedologia, altimetria, declividade, relevo, índice pluviométrico e uso e cobertura do solo. Foram utilizados o sistema de coordenadas cartesianas UTM, Datum Sirgas 2000 e Fuso 24, os dados vetoriais da Secretaria do Estado do Desenvolvimento Urbano e Sustentabilidade (SEDURBS) e os dados raster da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA).

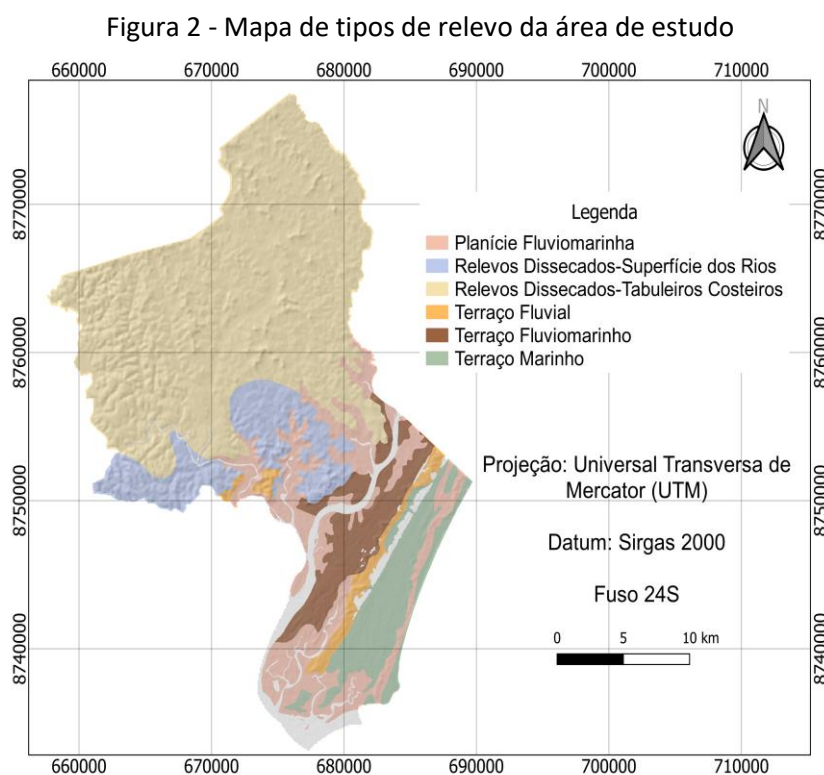
Os dados vetoriais de tipo de solo, índice pluviométrico, uso e cobertura do solo e relevo foram importados diretamente para o banco de dados do QGIS para a compilação, integração e interpretação visual. Enquanto, que para a confecção do mapa de altimetria foram utilizados os dados do Shuttle Radar Topographic of Mission (SRTM),

que foram convertidos para imagem raster para a elaboração do Modelo Digital de Elevação (MDE). Estes dados do Shuttle Radar Topographic of Mission também foram utilizados no SPRING para a confecção do mapa de declividade.

A fim de auxiliar na determinação das classes do mapa de uso e ocupação de solo foram utilizadas as imagens de satélite do Google Earth. Além disso, foi utilizado o efeito de sombreamento nos mapas de pedologia, relevo, hipsometria e declividade a fim de garantir uma aparência tridimensional nos mapas.

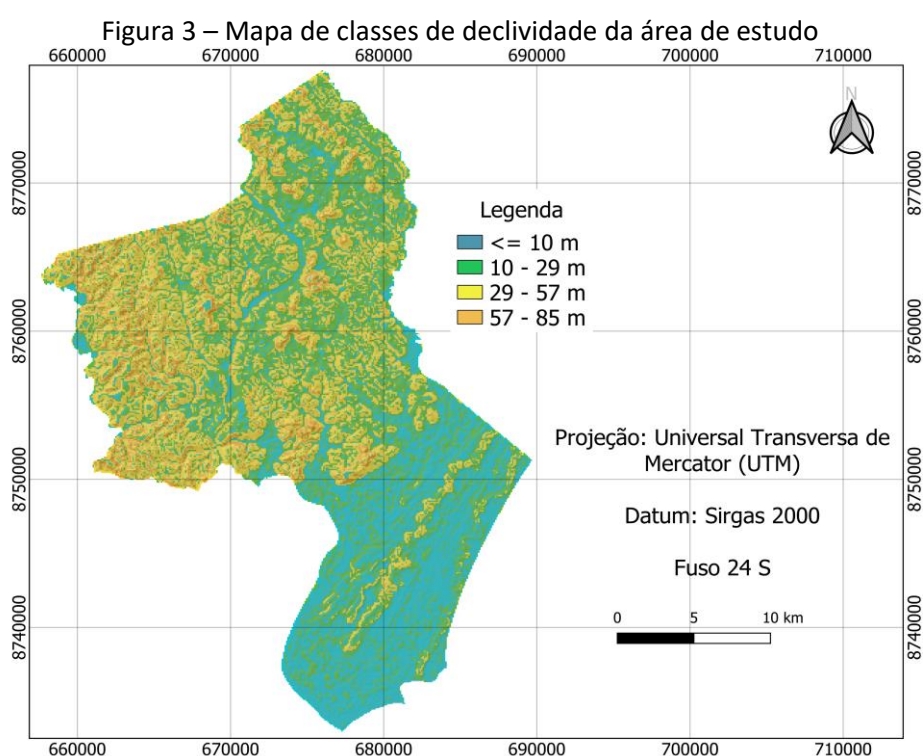
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A parte Sul do município de Estância é formada pela morfografia: planície fluviomarinha, terraço fluvial, terraço fluviomarinho e terraço marinho (Figura 2). As planícies fluviais e marinhas são originalmente, os locais das águas dos rios e oceanos em épocas de enchentes e marés altas, respectivamente. Por sua vez, as altas marés e as intensas precipitações, principalmente quando ocorrem juntas atingem os terraços e além de intensificando as inundações. Na ocorrência de ocupação humana, ou melhor invasão humana, dessas áreas pertencentes aos rios e mares, as inundações são mais intensas.



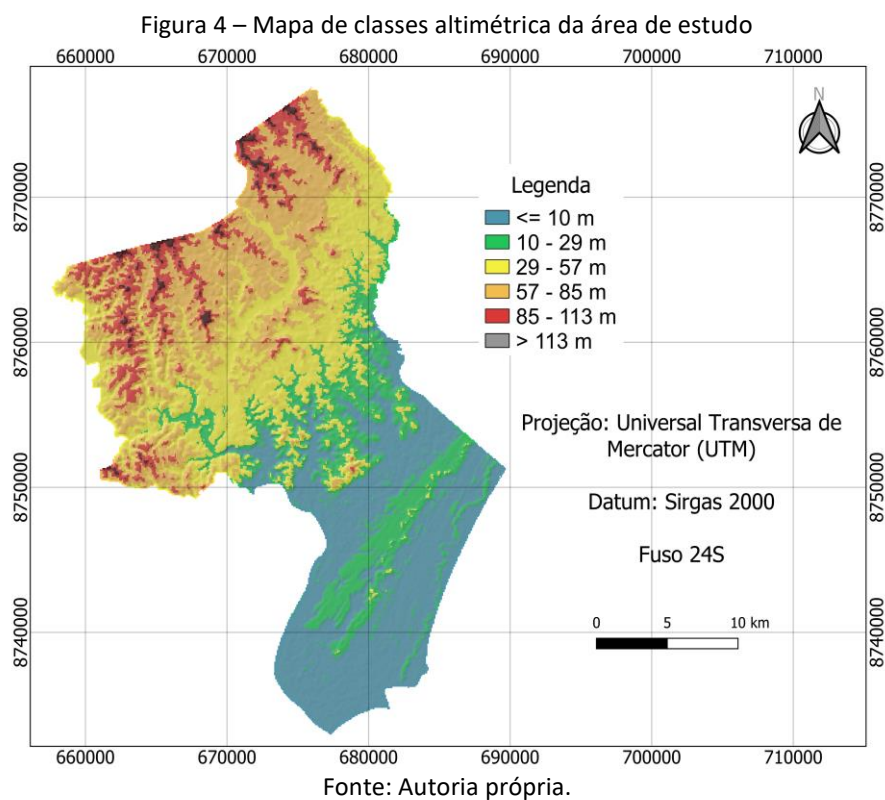
Fonte: Autoria própria.

Em regiões com essas morfografias predominam superfícies suaves e aplainadas (OLIVEIRA; SOUZA, 2012), sendo possível observar a predominância de classes de declividade inferior a 8% na região sul do município (Figura 3). Essas áreas planas segundo Magalhães et al. (2011) são mais suscetíveis à inundação do que as áreas escarpadas, visto que a baixa declividade do terreno influencia no acúmulo de água. O acúmulo de água nas baixas declividades ocorre pela diminuição da ação da gravidade e, conseqüentemente, perda da energia cinética. É importante enfatizar, se nessas áreas planas, o terreno é natural e/ou artificialmente impermeabilizado, a água não infiltrará e intensificará a inundação.

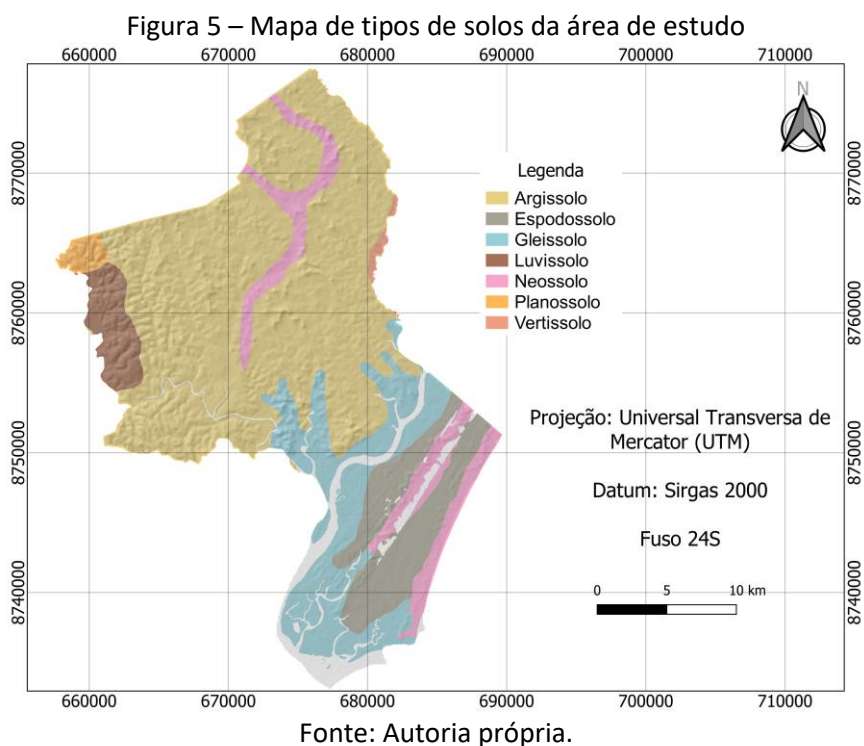


Fonte: Autoria própria.

A altimetria ou hipsometria do município de Estância encontra-se entre 1 a 141 metros em relação ao nível do mar, sendo que a porção sul é marcada pelas menores altitudes, com a maior parte desta região abaixo de 29 metros (Figura 4). Magalhães et al. (2011) relatam que áreas de menor altitude são mais suscetíveis à inundação devido à influência da força gravitacional. Dessa forma, as classes de declividade e hipsométricas estão correlacionadas e em áreas litorâneas, essa correlação é ainda mais significativa, pois a influência das altas marés em épocas de altas precipitações vai desencadear processos mais intensos de inundação.

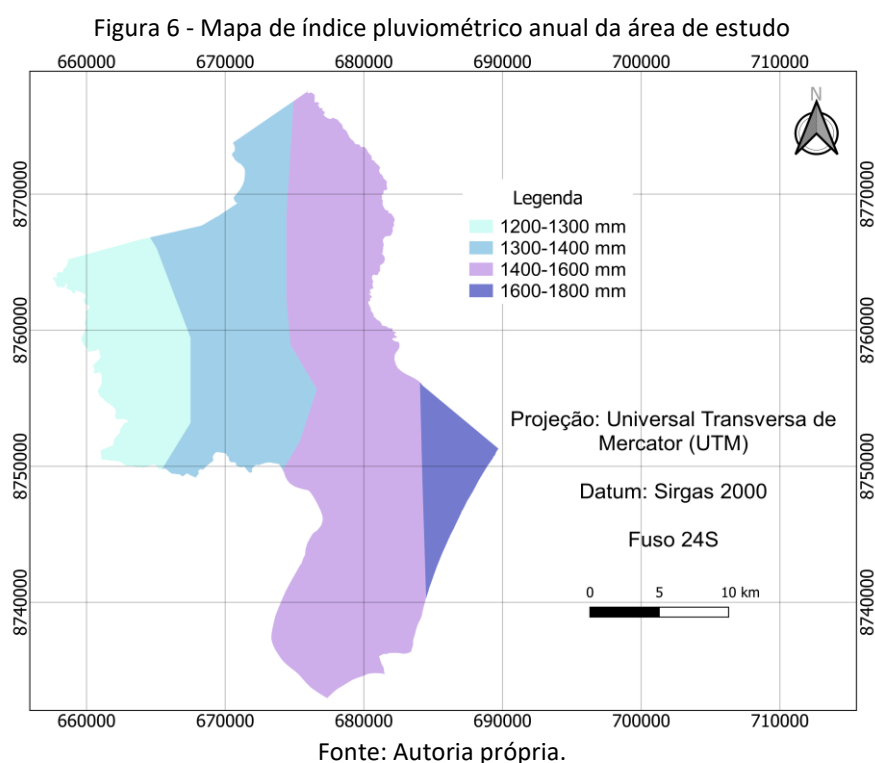


A pedologia do município é formada predominantemente por argissolos na porção norte e por gleissolos, espodossolos e neossolos na parte sul do município de Estância (Figura 5).



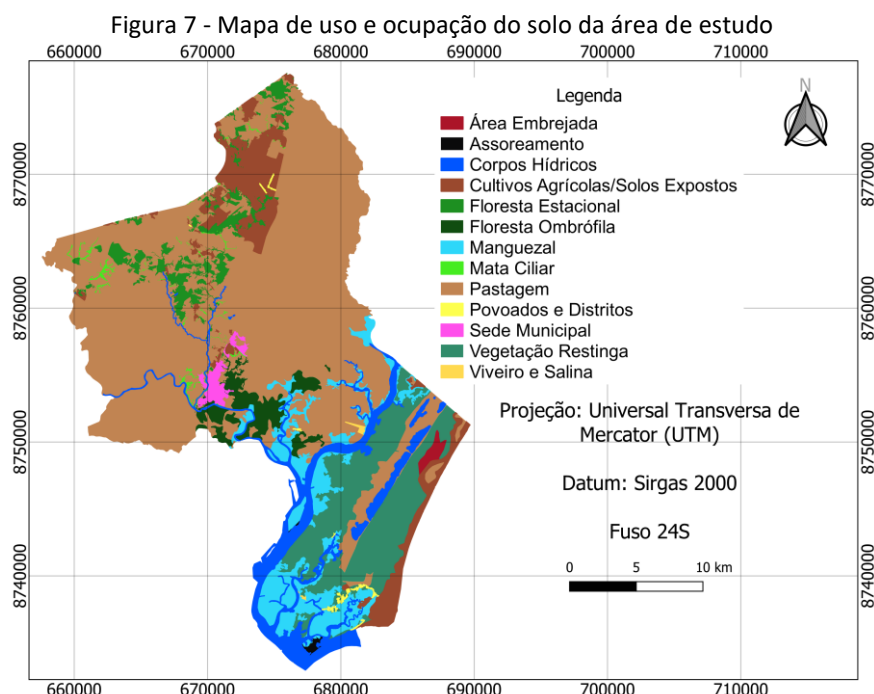
O tipo de solo tem um papel fundamental no escoamento da água e na capacidade de infiltração, o que por sua vez afeta a suscetibilidade do terreno às inundações (MAGALHÃES et al., 2011). Oliveira e Souza (2012) destacaram que o espodosolo e o neossolo são solos bem drenados, ou seja, apresentam alta capacidade de infiltração. Enquanto, estes autores relataram que o gleissolo, solo típico de mangue e com alto teor de matéria orgânica é muito mal drenado, portanto, é um tipo de solo mais suscetível às inundações.

Souza et al. (2017) ressaltam a importância do conhecimento sobre as características meteorológicas da região, visto que grande volume de precipitação é um agente deflagrador de inundações. No caso de Estância, a maior parte da região sul apresenta um índice pluviométrico de 1400 a 1600 mm por ano, tendo uma pequena porção a sudeste com índices pluviométricos superiores a 1600 mm por ano (Figura 6).



O uso e ocupação do solo tem um papel fundamental na vulnerabilidade do município à inundações porque a utilização do solo influencia na velocidade de escoamento, interceptação e infiltração (GIACON JÚNIOR; SILVA, 2020). Magalhães et al. (2011) ainda relatam que solos com cobertura florestal acumulam menos água na superfície porque são poucos compactados, ou seja, essas regiões são menos vulneráveis a esse evento natural. A maior parte de Estância é ocupada por pastagem,

principalmente, na porção norte do município (Figura 7). A pastagem substituiu as zonas de florestas Ombrófila e Estacional, bem como, as áreas de mangue, o que provoca um acréscimo da vulnerabilidade das áreas próximas dos corpos hídricos.



Fonte: Autoria própria.

Por sua vez, na região sul do município se concentra a maior parte dos corpos hídricos e é ocupado, principalmente, por vegetação de restinga e áreas de manguezal. Porém, Oliveira e Souza (2012) relatam que as áreas de mangue vêm sendo substituídas pela restinga, o que contribui para a degradação dos mananciais, intensificação de processos erosivos e poluição do solo e água. Vale ressaltar também a presença de solos expostos, povoados e distritos próximos aos corpos d'água, sendo assim são áreas muito vulneráveis às inundações devido a impermeabilização do solo.

Vale destacar que a continuidade do processo de substituição das áreas de manguezais por ações antropogênicas representa um risco para as populações locais, visto que a região sul de Estância já apresenta características fisiográficas que favorecem a ocorrência destes eventos. Desse modo, é fundamental a conservação dessas áreas de mata nativa e de manguezal, bem como, o monitoramento das áreas para minimizar as inundações, evitando perdas materiais e demais transtornos aos munícipes.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de ferramentas sensoramento remoto permitiu avaliar qualitativamente que a região sul do município de Estância no estado de Sergipe apresenta alta suscetibilidade e a vulnerabilidade à inundação. A suscetibilidade à inundação está relacionada com as baixas altimetrias e declividade em relevos planos a levemente ondulados formados em solos mal drenados dos manguezais do ambiente estuarino com alto índice pluviométrico. A presença de áreas de pastagem, solo exposto, povoados e distritos próximos aos corpos hídricos na região sul a tornam bastante vulnerável a esse evento natural. Desta forma, os produtos cartográficos temáticos gerados são documentos técnico-gerencial para nortear a prevenção de processos de inundação nas áreas mais vulneráveis.

Recomenda-se uma metodologia quantitativa, como por exemplo, a análise de multicritério, visando uma modelagem matemática de padronização e decisão para resolver problemas complexos como desastres naturais e/ou riscos geológicos, como as inundações. Há variados métodos multicritérios de apoio à tomada de decisão, dentre eles o Processo Analítico Hierárquico (*Analytic Hierarchy Process* - AHP), fundamentado na teoria de agregação multicritério a partir da síntese de sistema de relações de preferência relativa de um atributo em relação ao outro. Os atributos são os que foram utilizados nesse trabalho: pluviometria, geomorfologia morfográfica e morfométrica, pedologia e uso e cobertura da terra.

REFERÊNCIAS

- CORSI, A. C.; AZEVEDO, P. B. M. de; GRAMANI, M. F. Valoração de danos decorrente da inundação em São Luiz do Paraitinga. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 1, n. 2, p. 124 - 142, 2012.
- GIACON JUNIOR, A. J.; SILVA, A. M. da. Mapeamento de áreas suscetíveis a inundações por meio das características hidro geomorfológicas do município de Sorocaba. In: CONGRESSO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, 17.; Poços de Caldas, 2020. **Anais...** Poços de Caldas, 2020, p. 1 - 13.
- LICCO, E. A.; DOWELL, S. F. M. Alagamentos, enchentes, enxurradas e inundações: Digressões sobre seus impactos sócio econômicos e governança. **Iniciação - Revista de Iniciação Científica, Tecnológica e Artística**, v. 5, n. 3, p. 159 - 174, 2015.



- MAGALHÃES, I. A. L.; THIAGO, C. R. L.; AGRIZZI, D. V.; SANTOS, A. R. dos. Uso de geotecnologias para mapeamento de áreas de risco de inundação em Guaçuí, ES: Uma análise comparativa entre dois métodos. **Cadernos de Geociências**, v. 8, n. 2, p. 63 - 70, 2011.
- OLIVEIRA, A. C. C. de A.; SOUZA, R. M. Dinâmica da paisagem e proposição de cenários ambientais: um estudo da planície costeira de Estância, Sergipe, Brasil. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, v. 12, n. 2, p. 175 - 193, 2012.
- OLIVEIRA, K. S.; SILVA, M. L. B.; NASCIMENTO, P. S. R. Análise geoespacial da vulnerabilidade a riscos de alagamentos por técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento In: BARBOSA, F. C. (Org.). **Meio ambiente e saneamento básico: Impactos e desafios no Brasil**. 1 ed. Piranjuba: Editora Conhecimento Livre, 2020, v.3, p. 539 - 561.
- SANTANA, K. E. S.; NASCIMENTO, P. S. R. Mapeamento das áreas urbanas propensas a alagamentos e inundações no município de Lagarto – SE. In: PIRES, P. F. (Org.). **Engenharia: a máquina que constrói o futuro**. 1 ed. Piranjuba: Editora Conhecimento Livre, 2020, v.1, p. 560 - 583.
- SOUZA, D. O. de; LINO, J. F. de L.; BERNARDES, T.; SATO, E. N.; FIRMINO, M. B. M. Padrões meteorológicos e morfológicos associados à eventos de inundação na Bacia do Rio Uruguai: estudo de caso para o município de Uruguaiana - RS. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 4, p. 1873 - 1885, 2017.

ANÁLISE ESPACIAL DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RESERVATÓRIO COCHOS DO MUNICÍPIO DE IGARACY, PARAÍBA, BRASIL

SPATIAL ANALYSIS OF THE WATER QUALITY OF THE COCHOS RESERVOIR IN THE MUNICIPALITY OF IGARACY, PARAÍBA, BRAZIL

DOI: 10.51859/AMPLA.PCE2111-3

Paloma Mara de Lima Ferreira ¹

Fagner França da Costa ²

Manoel Mariano Neto ²

Higor Costa de Brito ³

¹ Bacharel em Engenharia Ambiental, mestre e doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal da Paraíba.

² Bacharel em Engenharia Ambiental, doutorando em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

³ Bacharel em Engenharia Civil, mestre e doutorando em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

RESUMO

Este trabalho teve por objetivo analisar a qualidade da água do reservatório de Cochoss, por meio de uma abordagem espacial, a partir da distribuição dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, destacando sua variabilidade no período de maior e menor ocorrência de chuvas, entre os anos de 2013 e 2014. Para tanto, foram analisados dados referentes ao potencial hidrogeniônico (pH), nitrogênio (N), fósforo (P) e Coliformes Termotolerantes (CTT). Os pontos de coleta foram georreferenciados e a análise espacial da qualidade da água foi realizada através do método de interpolação *Inverse Distance Weighted (IDW)*. Quanto aos parâmetros físico-químicos, constatou-se, que a qualidade da água tende a reduzir nos períodos secos, aspecto decorrente da diminuição do volume hídrico e, consequentemente, aumento da concentração dos poluentes. Verificou-se também o aumento abrupto da presença de CTT em todos os pontos analisados, justificado pelos despejos de esgotos e atividades agropecuárias desenvolvidas nas proximidades do corpo hídrico.

Palavras-chave: Semiárido. Parâmetros físico-químicos. Parâmetros microbiológicos. Qualidade de água.

ABSTRACT

This study aimed to analyze the water quality of the Cochoss reservoir, through a spatial approach, from the distribution of physical-chemical and microbiological parameters, highlighting its variability in the period of higher and lower rainfall between the years of 2013 and 2014. For this, data regarding the hydrogen potential (pH), nitrogen (N), phosphorus (P) and thermotolerant coliforms (TCC) were analyzed. The collection points were georeferenced, and the spatial analysis of water quality was performed using the Inverse Distance Weighted (IDW) interpolation method. As for the physical-chemical parameters, it was found that the water quality tends to reduce in dry periods, an aspect resulting from the decrease in water volume and, consequently, an increase in the concentration of pollutants. There was also an abrupt increase in the presence of CTT in all points analyzed, justified by sewage disposal and agricultural activities developed in the vicinity of the water body.

Keywords: Semi-arid. Physicochemical parameters. Microbiological parameters. Water quality.

1. INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Recursos Hídricos define a água como um recurso natural limitado, de domínio público e dotado de valor econômico, que em situações de escassez, tem como usos prioritários o consumo humano e a dessedentação animal (BRASIL, 1997). Todavia, a degradação, oriunda do lançamento de poluentes nos ambientes aquáticos, é uma questão que reverbera globalmente (VON SPERLING, 2014; RASOOL; XIAO, 2019).

A perda de qualidade da água restringe os usos, em especial os mais nobres, ocasionando problemas de ordens social e ambiental (CECH, 2013). Em decorrência de tais aspectos, muitas problemáticas são intensificadas, dentre elas: o declínio da saúde global, dada veiculação de epidemiologias decorrentes da falta de acesso à água potável; o agravamento da crise ambiental, associada à exploração excessiva e à poluição; e, a limitação de atividades econômicas, em decorrência da indisponibilidade de água em quantidade e qualidade desejáveis (MILLER; SPOOLMAN, 2015).

No semiárido brasileiro, essa questão se torna ainda mais relevante face às limitações impostas pelas condições climáticas e geomorfológicas. A precipitação anual varia entre 250 mm e 800 mm, distribuídos de forma irregular, onde aproximadamente 70% dessa porção territorial se encontra sobre a formação do cristalino, que dificulta a estocagem de água no subsolo (MALVEZZI, 2007; TINÔCO et al., 2018). Com isso, os recursos hídricos são escassos.

Neste sentido, os reservatórios superficiais apresentam usos múltiplos, como abastecimento, irrigação e dessedentação animal. Entretanto, muitos destes ambientes aquáticos são diretamente afetados por impactos negativos à qualidade da água, decorrentes das fontes de poluição que interagem com o corpo hídrico, como a agricultura, a pecuária e o despejo de esgotos (CAVALCANTE; ARAÚJO; BECKER, 2018).

As condições climáticas também interferem na qualidade da água, visto que nos períodos chuvosos, podem ocorrer diminuições ou aumentos nas concentrações de poluentes, devido à diluição e carreamento de contaminantes, respectivamente (MUNIZ, 2019). Já nos períodos de estiagem, os volumes dos reservatórios diminuem, concentrando as substâncias poluidoras (ROCHA JÚNIOR et al., 2018).

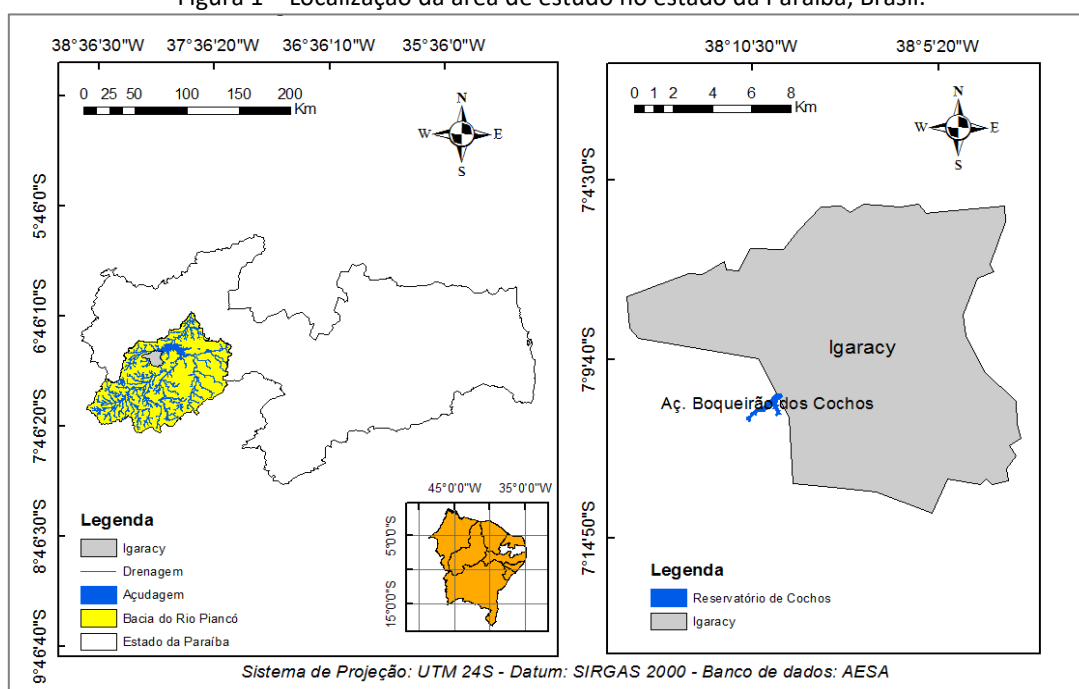
Mediante tais discussões, o objetivo deste estudo é analisar espacialmente a qualidade da água do reservatório de Cochoss, localizado no estado da Paraíba, de modo a verificar a distribuição dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, a fim de destacar a variabilidade no período de maior e menor ocorrência de chuvas, entre os anos de 2013 e 2014.

2. METODOLOGIA

2.1. ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida no açude Riacho dos Cochoss, pertencente ao município de Igaracy, no estado da Paraíba. Essa localidade está situada na microrregião de Piancó, com afluição na bacia do rio Piancó, subbacia do rio Piancó-Piranhas-Açu (Figura 1).

Figura 1 – Localização da área de estudo no estado da Paraíba, Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

O município possui 6.156 habitantes (IBGE, 2010), com área territorial de 197.058 km², limita-se com os municípios de Aguiar, Coremas, Piancó e Itaporanga. O Reservatório Riacho dos Cochoss possui capacidade máxima de armazenamento de 4.199.773 m³ e é responsável pelo abastecimento total da cidade e pelo desenvolvimento de atividades agropecuárias na região (CAGEPA, 2022).

2.2. AQUISIÇÃO DE DADOS

Os dados foram obtidos por meio do trabalho desenvolvido por Ferreira (2014), que realizou o monitoramento da qualidade da água superficial do Reservatório Cochos, no período de novembro de 2013 a julho de 2014.

Foram selecionados 8 pontos para coleta das amostras na profundidade de 50 centímetros (Tabela 1), seguindo recomendações do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (ANA, 2011), que define essa profundidade de coleta. As coletas seguiram frequência bimestral durante o período seco (Nov./2013 a Mar./2014), e, durante o período de ocorrência de precipitações (Mai./2014 a Jul./2014), empregou-se a frequência mensal.

Tabela 1 – Coordenadas geográficas dos pontos amostrais no reservatório Cochos

| Pontos | Descrição | Coordenadas | |
|----------------|--|--------------|----------|
| | | Longitude | Latitude |
| (P1) – Ponto 1 | Ponto de captação de água da CAGEPA | -38.1608 | -7.17823 |
| (P2) – Ponto 2 | Tomada de água para perenização do Riacho Cochos a jusante do reservatório | -38.16259722 | -7.17793 |
| (P4) – Ponto 3 | Ponto de coleta de água em carros pipas para abastecimento, melhor acesso para lazer e lavagem de veículos | -38.16384167 | -7.18088 |
| (P3) – Ponto 4 | Área central do reservatório sob influência de efluentes da indústria de tecelagem próxima | -38.16393889 | -7.18293 |
| (P5) – Ponto 5 | Concentração de pequenas moradias rurais e atividade agropecuárias | -38.16297778 | -7.18417 |
| (P6) – Ponto 6 | Ponto de ligação de um reservatório a montante | -38.16301667 | -7.1859 |
| (P7) – Ponto 7 | Existência de moradias rurais e atividade agropecuárias | -38.17175833 | -7.18601 |
| (P8) – Ponto 8 | Faixa mais protegida com existência mata ciliar melhor conservada | -38.175175 | -7.18798 |

Fonte: Ferreira (2014).

Os parâmetros analisados foram: potencial hidrogeniônico (pH), nitrogênio (N), fósforo (P) e Coliformes Termotolerantes (CTT), seguindo recomendações metodológicas preconizadas no Standard Methods (APHA, 1998).

A escolha por estes parâmetros decorre das relações estabelecidas com a eutrofização do corpo hídrico e com os padrões de potabilidade. No caso do pH, especificamente, pela relação, indireta, estabelecida com a degradação de matéria orgânica (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2017).

2.3. ORGANIZAÇÃO E TRATAMENTO DOS DADOS

Os dados foram organizados conforme os pontos de coletas, georreferenciados, e os valores médios dos resultados das análises dos parâmetros (Tabela 2), possibilitando a análise espacial da qualidade da água do reservatório, por meio do método de interpolação *Inverse Distance Weighted (IDW)*. O software utilizado para aplicação do método IDW foi o *ArcGIS*.

Tabela 2 – Pontos de coletas e os valores dos resultados médios dos parâmetros para o período chuvoso e seco

| Pontos | Parâmetros | | | | | | | |
|--------|------------|-------|----------|-------|----------|-------|------------------|---------|
| | pH | | P (mg/L) | | N (mg/L) | | CCT (UFC/100 mL) | |
| | Chuvoso | Seco | Chuvoso | Seco | Chuvoso | Seco | Chuvoso | Seco |
| P1 | 7,707 | 7,417 | 0,013 | 0,120 | 0,073 | 0,107 | 17,000 | 173,333 |
| P2 | 7,800 | 7,523 | 0,016 | 0,119 | 0,070 | 0,085 | 127,667 | 169,333 |
| P3 | 7,997 | 7,510 | 0,015 | 0,120 | 0,062 | 0,084 | 68,000 | 40,000 |
| P4 | 8,140 | 7,427 | 0,020 | 0,123 | 0,070 | 0,101 | 164,000 | 544,000 |
| P5 | 7,947 | 7,443 | 0,013 | 0,118 | 0,081 | 0,096 | 78,000 | 306,333 |
| P6 | 8,080 | 7,207 | 0,014 | 0,119 | 0,073 | 0,074 | 131,000 | 550,667 |
| P7 | 8,030 | 7,537 | 0,013 | 0,113 | 0,080 | 0,100 | 236,667 | 545,667 |
| P8 | 7,937 | 7,437 | 0,014 | 0,119 | 0,079 | 0,098 | 52,000 | 184,000 |

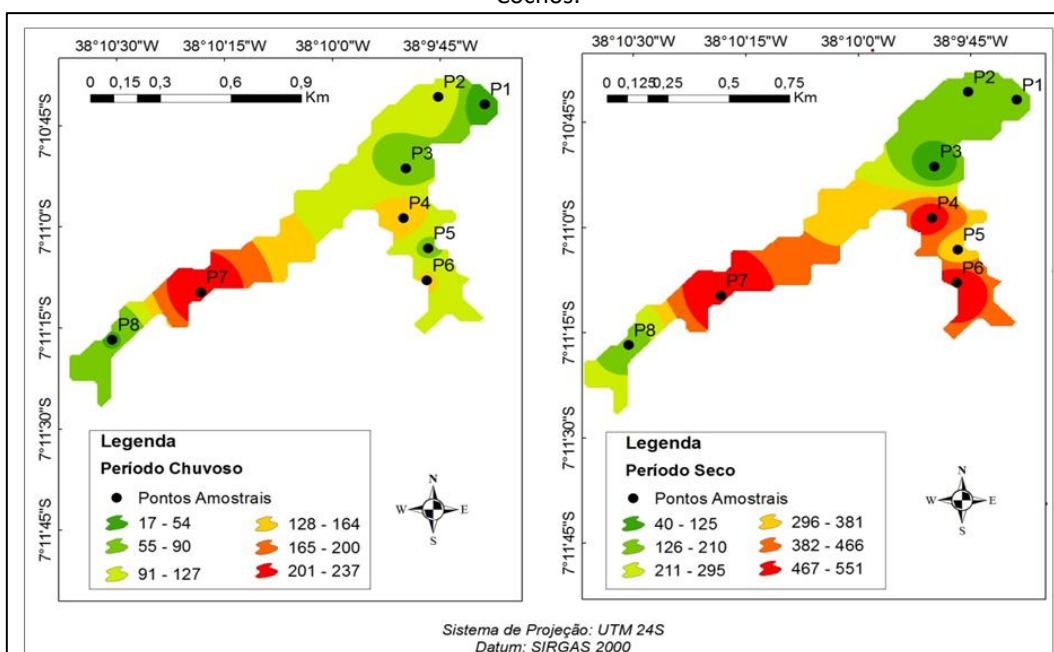
Fonte: Ferreira (2014).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados dispostos para os parâmetros escolhidos, realizou-se a espacialização da qualidade da água para o reservatório estudado, referente aos períodos chuvosos e secos. A Figura 2 demonstra os valores de CTT, apresentando os maiores valores no período seco, corresponde aos meses de novembro de 2013 a março de 2014. Nos demais meses, foi observada uma diminuição significativa desses níveis. Os CTT são o grupo de bactérias mais significativas na avaliação de poluição sanitária.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 determina que em águas doces de classe 2, não deverá ser excedido um limite de 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros, valor ultrapassado em alguns pontos amostrais durante o período estudado. No caso em estudo, constatou-se que o reservatório recebe contribuições de esgotos domésticos, o que explica variações abruptas entre os períodos seco e chuvoso.

Figura 2 – Distribuição Espacial dos Coliformes Termotolerantes Médios das águas do reservatório Cochós.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

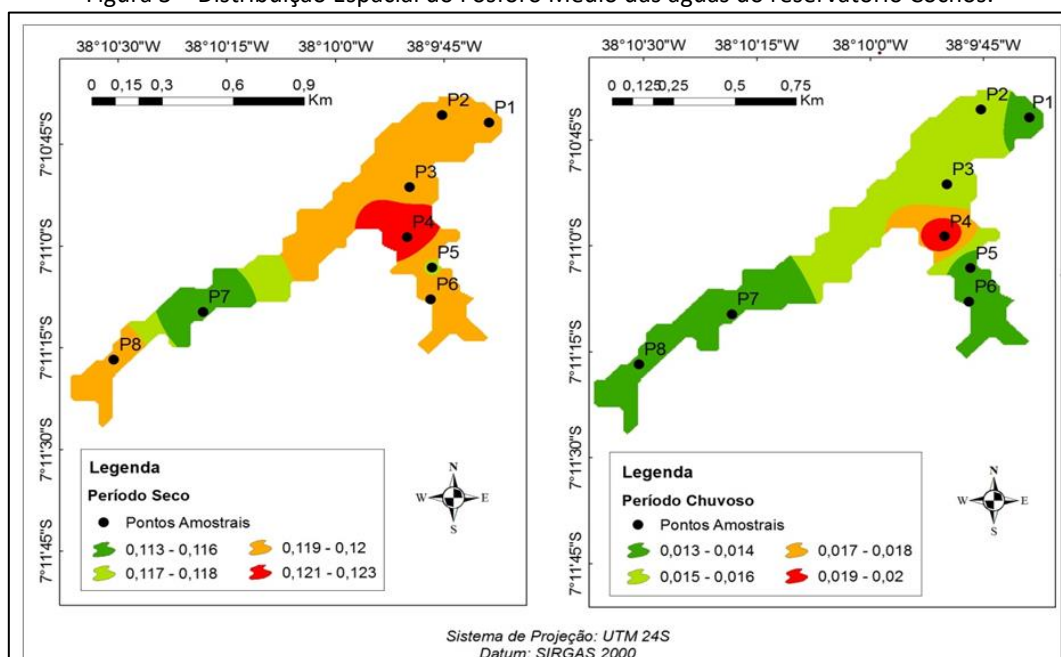
A contaminação por coliformes pode apresentar origens distintas. Estudos realizados no Sul da Etiópia associam a elevada ocorrência de micróbios à presença de animais nas proximidades das fontes hídricas, saneamento deficitário nas áreas a montante dos reservatórios e à ausência de isolamento desses ambientes aquáticos (ALEMAYEHU et al., 2020).

Ao estudar a qualidade da água no período seco, em corpos hídricos situados no Estado de Minas Gerais, Muniz (2019) encontrou valores elevados de CTT e afirmou que podem estar relacionados às atividades antrópicas. Contudo, o autor afirma que é comum a presença desses microrganismos em ambientes aquáticos superficiais.

Quanto ao P (Figura 3), a resolução do CONAMA nº 357/2005 traz como referência o valor máximo de 0,030 mg/L. As campanhas dos meses de novembro de 2013, janeiro e março de 2014 apresentaram teores de P superiores ao limite estipulado (variou em média entre 0,0013 a 0,123 mg/L), refletindo no período de maior concentração de nutrientes.

No período chuvoso, houve um declínio nos níveis de P. Apesar favorecer maior carregamento de sedimentos minerais, através do escoamento superficial, verifica-se a ocorrência da diluição de nutrientes, devido ao aumento do volume de água no reservatório nesse período (MUNIZ, 2019).

Figura 3 – Distribuição Espacial do Fósforo Médio das águas do reservatório Cochós.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

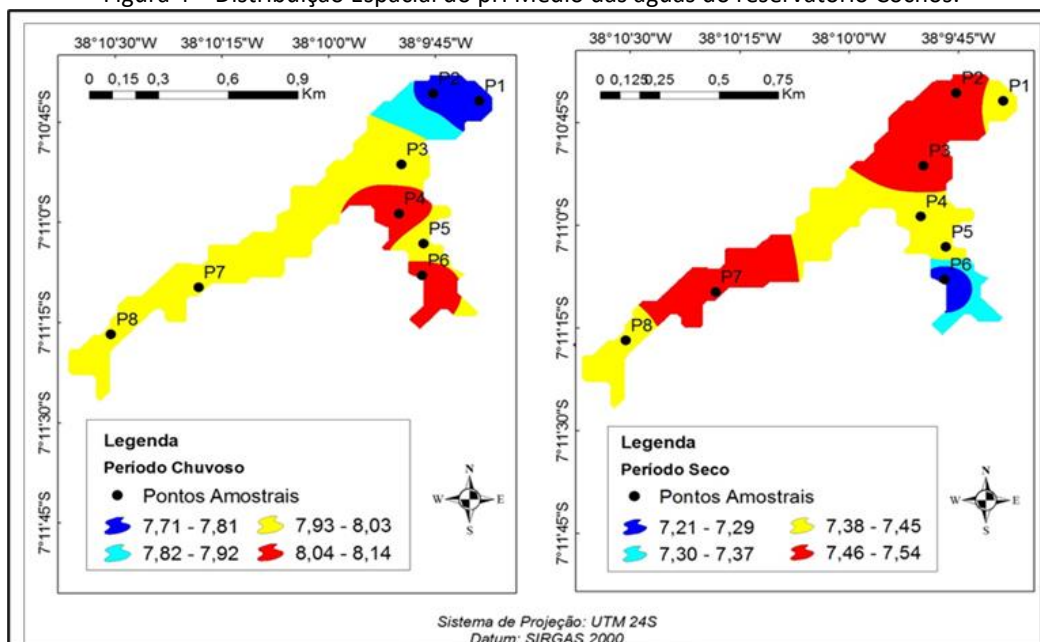
Este parâmetro também pode estar relacionado com os despejos de efluentes domésticos, visto que o município de Igaracy apresenta infraestrutura de saneamento básico deficitária, sem existência tratamento de esgoto. Admite-se ainda e influências das atividades agropecuárias, desenvolvidas nas proximidades do corpo hídrico.

Investigações desenvolvidas em reservatórios da bacia hidrográfica do Rio Piranhas-Açu, na parte situada no estado do Rio Grande do Norte, mostraram resultados semelhantes para a concentração de P. Com isso, os autores afirmam que os teores aumentam à medida em que os volumes hídricos declinam, e, tendem a reduzir com a ocorrência da estação chuvosa (CAVALCANTE; ARAÚJO; BECKER, 2018).

Verificou-se que os valores de pH (Figura 4) permaneceram superiores a 7,00 em todas as campanhas amostradas, apresentando variação entre 7,21 e 8,14 caracterizando águas com caráter de neutralidade a levemente alcalinas, em compatibilidade com a Resolução do CONAMA 357/2005, que fixa valores de pH entre 6 e 9 para Águas Doces, Classe 2.

Como na região não há fortes pressões industriais, os valores de pH estão coerentes com os usos da água do reservatório, apontando certa homogeneidade entre os pontos amostrais.

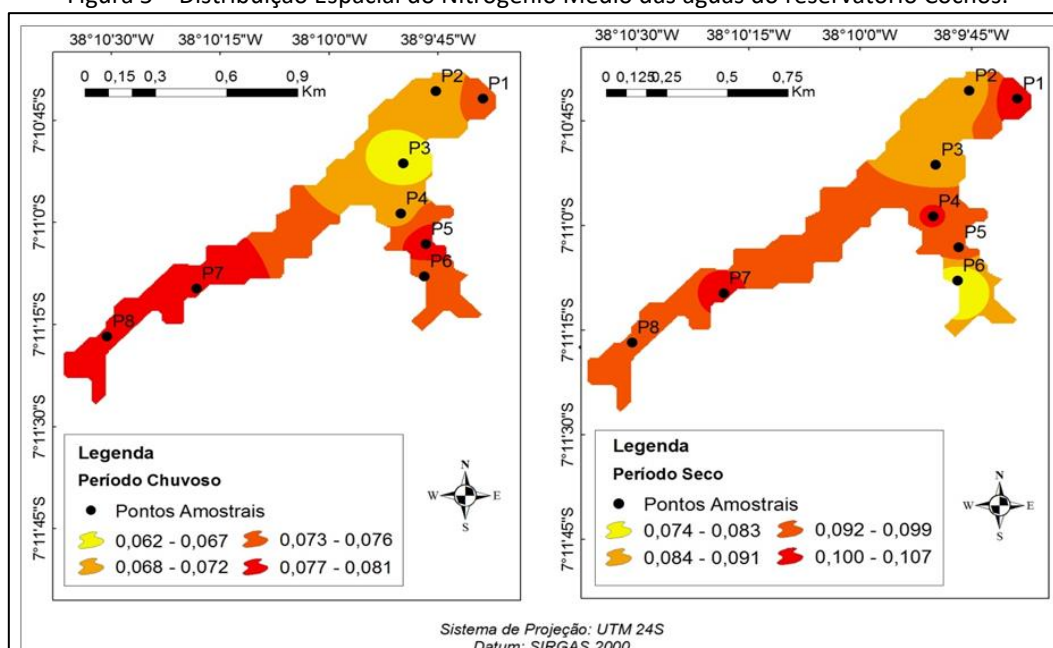
Figura 4 – Distribuição Espacial do pH Médio das águas do reservatório Cochós.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Em média, os teores de N (Figura 5) mantiveram-se em torno de 0,09 mg/L entre as campanhas de medição estudadas, com variações entre 0,062 mg/L a 0,107 mg/L. De modo geral os valores estiveram inferiores ao limite estipulado pela resolução do CONAMA Nº 357/2005, que referencia os valores de N Total inferiores a 1,27 mg/L para ambientes lênticos.

Figura 5 – Distribuição Espacial do Nitrogênio Médio das águas do reservatório Cochós.



Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

O N também tende a apresentar maiores concentrações em períodos de estiagem. Trata-se de um dos nutrientes essenciais ao crescimento e proliferação de algas e plantas aquáticas, podendo causar sérios problemas aos corpos hídricos, sejam estes rasos ou profundos (ROCHA JÚNIOR et al., 2018).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Verificou-se, que a qualidade da água tende a reduzir nos períodos secos, aspecto decorrente da redução do volume hídrico e, conseqüentemente, aumento na concentração dos poluentes, especificamente o nitrogênio e o fósforo.

Os indicadores microbiológicos, revelam o aumento abrupto de CTT em todos os pontos analisados, fato que pode estar relacionado à ocorrência de despejos de esgotos e às atividades agropecuárias, desenvolvidas nas proximidades do corpo hídrico.

O pH manteve-se dentro dos limites definidos pela Resolução CONAMA 357/2005, tanto no período seco quanto no período chuvoso. Logo, percebe-se que esse parâmetro, para o reservatório em questão, sofre variações pouco significativas em função da variação pluviométrica.

Como sugestões para trabalhos futuros, recomenda-se analisar o uso e ocupação do solo a montante e no entorno do reservatório, permitindo indicar as possíveis atividades que contribuem para a degradação da água.

REFERÊNCIAS

- AESA - Agencia Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. **Últimos volumes informados dos açudes**. 2022. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/monitoramento/ultimos-volumes/>. Acesso: em 13 de março de 2022.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **GUIA nacional de coleta e preservação de amostras**: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos/Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 326 p.
- ALEMAYEHU, T. A.; WELDETINSAE, A.; DINSSA, D. A.; DERRA, F. A.; BEDADA, T. L.; ASEFA, Y. B.; WOLDEGABRIEL, M. G. Sanitary condition and its microbiological quality of improved water sources in the Southern Region of Ethiopia. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 5, 2020.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination for Water and Wastewater**. 20th ed. Washington: American Public Health Association. 1998.

BRASIL. **Lei 9.433 de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/l9433.htm. Acesso em: 07 de abril de 2020.

CAVALCANTE, H.; ARAÚJO, F.; BECKER, V. Phosphorus dynamics in the water of tropical semiarid reservoirs in a prolonged drought period. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 30, 2018.

CECH, Thomas V. **Recursos hídricos: história, desenvolvimento, política e gestão**. Rio de Janeiro: Ltc, 2013.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 375 de 17 de março de 2005**. Brasília - DF. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em 29 de maio de 2020.

FERREIRA, P. M. Caracterização Limnológica do Reservatório Cochós na Bacia do Rio Piancó-Piranhas-Açu. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Campina Grande. Pombal, PB, 2014. p.74.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico**. 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/igaracy/panorama>. Acesso: em 29 de maio de 2020.

MALVEZZI, R. **Semiárido: uma visão holística**. Brasília: Confea, 2007. 140 p.

MILLER, G T.; SPOOLMAN, S. E. **Ciência ambiental**. 14. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.

MUNIZ, G. L. Qualidade da água do ribeirão São Bartolomeu avaliada pelo índice de qualidade da água em ponto de captação para abastecimento no período seco. **HOLOS**, v. 7, p. 1-19, 2019.

RASOOL, A.; XIAO, T. Distribution and potential ecological risk assessment of trace elements in the stream water and sediments from Lanmuchang area, southwest Guizhou, China. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, n. 4, p. 3706-3722, 2019.

ROCHA JUNIOR, C. A. N.; COSTA, M. R. A. D.; MENEZES, R. F.; ATTAYDE, J. L.; BECKER, V. Water volume reduction increases eutrophication risk in tropical semi-arid reservoirs. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 30, 2018.

TINÔCO, I. C. M.; BEZERRA, B. G.; LUCIO, P. S.; BARBOSA, L. M. Characterization of rainfall patterns in the semiarid Brazil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 2, p. 397-409, 2018.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for Drinking-water Quality**. Malta: Who, 2017.

AQUÍFEROS CONTAMINADOS POR AGROTÓXICOS: METODOLOGIAS PARA MONITORAMENTO

ACHIFERS CONTAMINATED BY AGROTOXICS: METHODOLOGIES FOR MONITORING

DOI: 10.51859/AMPLA.PCE2111-4

Gilka Maria da Silva Paiva ¹
 Sebastião Pereira Urtiga ²
 Galba M. de Campos-Takaki ³

^{1,2} Mestrandos do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais-UNICAP

³ Professora Titular, Escola ICAM-Tech. Universidade Católica de Pernambuco– UNICAP

RESUMO

A utilização de agrotóxicos compromete os recursos naturais renováveis, expondo um maior número de pessoas a seus efeitos tóxicos e em 2019 o Brasil liderava o ranking mundial no consumo. Os produtos químicos como os fertilizantes e agrotóxicos utilizados nas atividades agrícolas e de reflorestamento produzem resíduos que colocam em risco a saúde humana, os organismos aquáticos e terrestres nos diferentes compartimentos ambientais. Com o aumento de produção agrícola ocorre maior utilização de técnicas de plantios diferenciados por meio da aplicação de fertilizantes e pesticidas. Destaca-se nos problemas decorrentes da utilização desordenada de agrotóxicos e a importância da realização de monitoramento a seleção de metodologias adequadas para determinação dos agrotóxicos, destacando-se: cromatografia em camada fina (TLC) e camada fina de alta eficiência (HPTLC); cromatografia gasosa (GC); líquida de alta performance (HPLC) ou por espectrometria de massa (CG-MS). A contaminação em águas superficiais ou subterrâneas recomenda-se: Screening da Agência de Proteção Ambiental (EPA). Para os pesticidas solúveis em águas subterrâneas utiliza-se: Groundwater Screening Index (GSI); índice de vulnerabilidade (Groundwater Ubiquity Score, GUS); potencial de lixiviação físicos e químicos, que gera um coeficiente de adsorção à matéria orgânica no solo (Koc) e meia-vida ($t_{1/2}$) do produto no solo - método de Goss avalia o potencial de contaminação de compostos transportados e dissolvidos em água e associados ao sedimento.

Palavras-chave: Águas superficiais. Adsorção. Contaminação. Lixiviação. Pesticidas.

ABSTRACT

The use of pesticides compromises renewable natural resources, exposing a greater number of people to their toxic effects and in 2019 Brazil led the world ranking in consumption. Chemical products such as fertilizers and pesticides used in agricultural and reforestation activities produce residues that put human health, aquatic, and terrestrial organisms in different environmental compartments at risk. With the increase in agricultural production, there is a greater use of differentiated planting techniques through the application of fertilizers and pesticides. In the problems arising from the disorderly use of pesticides and the importance of monitoring the selection of appropriate methodologies for the determination of pesticides, the following stand out: thin layer chromatography (TLC) and high efficiency thin layer chromatography (HPTLC); gas chromatography (GC); performance liquid (HPLC) or by mass spectrometry (GC-MS). Contamination in surface or groundwater is recommended: Environmental Protection Agency (EPA) screening. For groundwater-soluble pesticides, the following is used: Groundwater Screening Index (GSI); vulnerability index (Groundwater Ubiquity Score, GUS); physical and chemical leaching potential, which generates an adsorption coefficient to organic matter in the soil (Koc) and half-life ($t_{1/2}$) of the product in the soil - Goss' method evaluates the potential for contamination of transported and dissolved compounds in water and associated to the sediment.

Keywords: Surface waters. adsorption. Contamination. Leaching. Pesticides.

1. INTRODUÇÃO

O uso intensivo de agrotóxicos na agricultura brasileira teve seu marco inicial no período denominado Revolução Verde, caracterizado pela ampla disseminação e o aumento de novas práticas agrícolas após a Segunda Guerra Mundial, que incluía o uso de agrotóxicos (CARNEIRO ET AL., 2015) citado por (COSTA, 2017).

Devido ao crescimento da população, a atividade econômica e agrícola principalmente com a irrigação e pecuária, além da demanda de recursos hídricos que cada vez mais vem aumentando no mundo. Nesse contexto, vários países sofrem com a grave crise hídrica que é

agravada pela desigualdade social, a contaminação das águas pelo uso indiscriminado de agrotóxicos, além da falta de manejo na utilização dos recursos naturais. Adicionalmente, outros fatores geram impactos, como a remoção de grandes áreas de vegetação e das matas ciliares, que protegem os rios e o solo.

O Brasil é o país mais rico do mundo em recursos hídricos, totalizando cerca de 12% da água doce disponível do planeta, além de abrigar enorme biodiversidade como o Pantanal que é a maior área úmida continental do mundo juntamente com a Amazônia.

Segundo a UNESCO, a hidrologia é a ciência que estuda as águas superficiais e subterrâneas no planeta terra, a sua formação, circulação e distribuição no espaço e no tempo, suas propriedades físicas, químicas e biológicas e a sua interação com o ambiente e seres vivos. Estuda os processos os quais regem as variações dos recursos hídricos continentais e as diversas fases do ciclo hidrológico. (UNESCO) citado por (ELOI, 2021).

Diante dos problemas causados pelo uso indiscriminado dos agrotóxicos, é de extrema relevância que a monitorização ambiental seja feita de maneira constante, o que permitiria avaliar se as medidas de segurança estão adequadas e, principalmente, se a água, solo, ar ou produto consumido não oferece perigo. (ALVES & SILVA 2003).

Existem diferentes modelos e metodologias para avaliação à contaminação do solo e das águas subterrâneas e a presente revisão demonstra a importância na identificação e avaliação dos pesticidas e os perigos para o ambiente.

Assim, o monitoramento oferece metodologias importantes, sendo uma forma constante e efetiva de avaliar com segurança o uso adequado da legislação vigente, evitando minimizar a exposição ambiental e ocupacional em prol do controle e prevenção da contaminação por resíduos tóxicos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ÁGUA SUBTERRÂNEA

Os aquíferos são reservatórios de água, sendo possível extrair quantidade suficiente para permitir um aproveitamento econômico e abastecimento público; são classificados quanto à porosidade da rocha que armazena a água podendo ser granular, fissural ou cártico. (SOLDERA, 2017). São classificados por suas características em livres ou confinados. Aquíferos livres ou freáticos estão próximos à superfície sendo submetidos à pressão atmosférica, já os aquíferos confinados estão em profundidade maior e são intercalados por camadas impermeáveis sendo submetidos a uma pressão maior que a da atmosfera.

O rápido crescimento populacional, o aumento da procura de água doce e o uso indevido da mesma, não têm permitido uma recarga eficaz dos aquíferos, uma vez que a captação é superior à recarga decorrente do ciclo hidrológico (STRUCKMEIER et al., 2000) citado por (LOPES, 2017).

O ciclo hidrológico é composto por um processo interativo e dinâmico onde a água subterrânea exerce papel fundamental, pois, circula do oceano para a atmosfera, logo após para os continentes, e retorna superficial e subterraneamente, ao oceano.

As principais regiões dos aquíferos Guarani/Serra Geral são protegidas pela lei 16.656/2015. No estado de Santa Catarina, região sul do Brasil, destaca-se uma das maiores reservas subterrâneas de água do mundo, o Aquífero Guarani, que se estende por quase 50% de todo território e possui de 1,2 milhões de quilômetros quadrados.

A Constituição Federal de 1988 em seu Art. 26 inciso I estabelece que a competência das águas subterrâneas pertença aos estados, entretanto, nem todos os estados, dispõe de leis específicas sobre proteção de águas subterrâneas.

A lei 11427/1997 dispõe sobre o programa de conservação e proteção permanentes; os estudos hidrogeológicos e projetos de captação deverão ser realizados

por profissionais, empresa ou instituições legalmente habilitados perante o Conselho Regional de Engenharia – PE (CREA) do estado de Pernambuco e dá outras providências.

2.2. CONTAMINAÇÃO DE AQUÍFEROS POR AGROTÓXICOS

Os principais problemas da qualidade da água estão relacionados com a contaminação de origem microbiológica, orgânica e química, oriundas das atividades humanas no ambiente que comprometem diretamente os recursos hídricos subterrâneos e superficiais.

As legislações do estado de Pernambuco, (Decreto 20.423, 1998) e (Decreto Nº 42.047, 2002), estabelecem que áreas destinadas ao depósito de resíduos no solo deverão ser dotadas de monitoramento da água subterrânea. Esse monitoramento deverá ser efetuado pelo responsável do empreendimento através de relatórios periódicos e em caso de alteração, os mesmos deverão executar obras que possibilitem a recuperação do aquífero.

O descarte de resíduos qualquer natureza seja sólida, líquida ou gasosa, originário das atividades industriais, minerais e agropecuárias ou de qualquer natureza, só poderão ser armazenados ou descartados de maneira a não poluírem as águas subterrâneas e devem obedecer aos padrões de emissão de poluentes exigidos na legislação ambiental específica de cada estado. Os agrotóxicos causam riscos ao meio ambiente quando permanecem ou atingem o meio aquático, oferecendo riscos para as espécies em virtude a sua toxicidade e capacidade de bioacumulação a nível trófico, nos tecidos e órgãos dos organismos.

A lixiviação dos agrotóxicos através do perfil do solo tende a resultar em contaminação das águas subterrâneas, e, nesse caso, as substâncias químicas são carregadas em solução juntamente com a água que alimenta os aquíferos (SPADOTTO et al., 2004) citado por (MARTINI,2012).

A modernização das técnicas agrícolas em alguns países impacta diretamente na qualidade das águas subterrâneas, em virtude ao uso dos agrotóxicos, especialmente os compostos a base de organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretróides, porém, existem também outras fontes não domésticas, advindas da indústria química, petroquímica, metalúrgica, alimentícia, curtume e outras fontes dispersas de poluição.

2.3. AGROTÓXICOS NA ATMOSFERA

O Brasil lidera o consumo de agrotóxicos do mundo. Esses produtos na forma de spray e seus agentes químicos tem a capacidade de atingir metros ou quilômetros de distância, expondo os compartimentos ambientais à contaminação; no caso das plantas aquáticas como as algas, pode haver a diminuição do oxigênio na água impactando no processo da fotossíntese, nos peixes podem acontecer deformidades em sua estrutura vertebral, são altamente tóxicos para as abelhas causando desordem no seu sistema de navegação, gerando colapso na colmeia, consecutivamente comprometendo a produção e podendo ocasionar a contaminação do mel produzido.

O aumento da produtividade, a forte presença da monocultura, a mecanização do campo, o agronegócio de exportação e o consumo de agrotóxicos são características da chamada “modernização agrícola” brasileira iniciada nas décadas de 1960 e 1970. (PORTO, 2009) citado por SOUZA et al. (2017).

O aumento do uso de agrotóxicos foi reforçado em 1975 com o lançamento do Programa Nacional de Defensivos Agrícolas (PNDA), incentivando a modernização da agricultura subsidiando crédito para a implantação da indústria de defensivos agrícolas no país. Os agrotóxicos tem a propriedade de se propagar no meio ambiente de forma muito rápida, atingindo a atmosfera e contaminando as áreas circunvizinhas à aplicação, em virtude dos fatores climáticos como velocidade dos ventos, temperatura, umidade e o seu potencial de volatilização.

Estudos realizados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) constataam quanto a alta periculosidade da pulverização aérea, ocasionando uma “deriva técnica”, onde, mesmo que os equipamentos de pulverização estejam calibrados e em suas condições ideais de aplicação, deixam 32% dos agrotóxicos pulverizados retidos nas plantas; outros 49% vão para o solo e 19% vão pelo ar para outras áreas vizinhas a aplicação.

Os agrotóxicos quanto a sua toxicidade dividem-se em classes, conforme tabela

1.

Tabela 1- Classificação das Classe de agrotóxicos de acordo com cores

| CLASSE | CLASSIFICAÇÃO | COR DO RÓTULO NO PRODUTO |
|--------|---------------------|--------------------------|
| I | EXTREMAMENTE TÓXICO | VERMELHO |
| II | ALTAMENTE TÓXICO | AMARELO |
| III | MEDIANAMENTE TÓXICO | AZUL |
| IV | POUCO TÓXICO | VERDE |

Fonte: Autoria própria

A contaminação atmosférica causada pelo uso de agrotóxicos e os riscos ambientais a saúde humana, é um tema em destaque, e vem fomentando estudos no âmbito nacional, a fim de demonstrar a problemática da sua utilização de forma descontrolada e as consequências ambientais, sociais e econômicas.

2.4. CONTAMINAÇÃO POR AGROTÓXICOS

O livro primavera silenciosa escrito na década de 60 pela bióloga americana Rachel Carson, que de forma crítica debateu a utilização de agrotóxicos nos EUA nos anos 40 e 50, demonstrou que apenas uma aplicação de DDT em uma lavoura, não só as pragas foram atingidas, mas, também uma série de espécies.

Em 2004 entrou em o texto da Convenção de Estocolmo o qual determina a adoção de medidas de controle e prevenção no desenvolvimento de novos POP (poluentes orgânicos persistentes); a convenção propõe extinguir ou reprimir os Pop's seus estoques e resíduos, sobretudo a identificação e gestão das áreas contaminadas.

No Brasil, entrou em vigor da Lei 7802/89 – Lei dos Agrotóxicos, que proíbe o registro dos produtos contendo substâncias carcinogênicas, teratogênicas ou mutagênicas e que provoquem distúrbios hormonais e danos ao aparelho reprodutor conforme resultado atualizado de experiências da comunidade científica, assim como os que possuam características que causem danos ao meio ambiente.

A Associação Brasileira de Saúde Coletiva (Abrasco), por sua vez, ao tratar do tema, assinalou que é imperativo que o poder público proíba tal atividade, diante das doses cada vez maiores de contaminantes nos produtos tóxicos que têm sido aplicados principalmente em áreas de monocultura, gerando agravos à saúde humana e à dos ecossistemas.

A utilização incorreta dos agrotóxicos, além de, contaminar solos, águas, alimentos; representa ameaça aos organismos terrestres e aquáticos além de oferecer riscos de intoxicação ocupacional aos trabalhadores rurais.

De acordo com o decreto 4.074/2002 é de competência do ministério Da saúde o monitoramento de agrotóxicos no ambiente, visto se tratar de uma ferramenta importante para a caracterização e o gerenciamento dos riscos ambientais decorrentes do uso desses produtos em condições reais. Os resíduos encontrados nesse monitoramento são determinantes na verificação de como ocorre a exposição ao agrotóxico e também podem colaborar na avaliação de processos de novos produtos ou na reavaliação dos que já estão em uso; visando garantir que as rotas de contaminação e os organismos sejam relacionados com os efeitos ecológicos, o monitoramento deve acontecer de forma integrada a exposição.

2.5. EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

Ao longo dos anos os ingredientes ativos dos agrotóxicos foram sendo modificados e com o advento das sementes transgênicas e a resistência adquirida pelas pragas, os agricultores utilizam doses maiores do pesticida, aumentando a exposição ocupacional e desencadeando desequilíbrio ambiental, podendo ocasionar inclusive o surgimento de novas pragas.

A negligência na utilização dos equipamentos de proteção individual amplifica o risco da contaminação dos agricultores e suas famílias durante a aplicação do agrotóxico, embora não desejado por inúmeras vezes, o EPI deve ser conceituado como tecnologia na proteção dos problemas ocupacionais.

Alguns dos compostos ativos presentes nos pesticidas, desencadeiam doenças pelas vias respiratórias, dérmica e boca, podendo ocasionar insônia, depressão, infertilidade e até impotência; em virtude a exposição por longos anos a diversos agrotóxicos, os trabalhadores muitas vezes desenvolvem sintomas que são confundidos com outras doenças acarretando dificuldades e erros no diagnóstico, além de tratamentos equivocados; Embora não haja classificação quanto à carcinogenicidade, existem estudos que associam o surgimento de tumores e câncer de diferentes tipos; em destaque o linfoma não-Hodgkin; câncer que afeta o sistema linfático.

Pesquisas científicas evidenciam que os agrotóxicos podem causar danos a saúde após exposição prolongada ou não, isso vai depender a qual composto houve exposição; muitas vezes são de caráter irreversível como as neuropatias, a paralisia ocasionada pela exposição aos organofosforados, pode aparecer após uma exposição intensa ou como um efeito crônico na forma de uma ação neurotóxica retardada, porém, não necessariamente duradoura; os sintomas clássicos são: confusão mental, fraqueza, sonolência, cefaleia, tremores, paralisia muscular, podendo evoluir ao óbito.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de vulnerabilidade à contaminação do solo e das águas subterrâneas envolve a análise de fatores como a litologia, os tipos de solo, a topografia, a profundidade do lençol freático uso e a ocupação do solo. Dependendo do modelo utilizado pode-se utilizar um maior ou menor número de fatores (PEREIRA, 2006) citado por (MONTERO, 2012).

Os processos industriais geram resíduos sólidos, líquidos ou gasosos durante ou no final de ciclo de produção; métodos analíticos, físico-químicos e modelos matemáticos são utilizados na monitorização ambiental objetivando medidas no controle e gerenciamento do risco.

Dentre os métodos analíticos destacam-se o de cromatografia fina (TLC), camada fina de HPTLC, líquida de alta performance, gasosa (GC), espectrometria de massa, entre outras que em virtude ao seu custo elevado e mão de obra especializada, torna-os inacessível para pequenos laboratórios.

O uso de modelos indexados na combinação de fatores de controle do movimento de poluentes da superfície até ao subsolo, resultam em diferentes padrões de vulnerabilidade no decorrer da área de estudo; são divididos em três categorias (alta, média ou baixa - vulnerabilidade).

Para identificar o grau de vulnerabilidade são utilizados critérios associados a parâmetros físicos e modelos matemáticos que são demonstrados conforme a área de estudo a ser analisada. Outro modelo utilizado para o estudo das águas subterrâneas e o carreamento de contaminantes é por meio da modelação de fluxos que tem auxiliado de forma eficaz na sua proteção e gestão.

A lixiviação das águas subterrâneas acontece dependente do nível de sorção das moléculas que constituem o agrotóxico e sua impregnação ao solo juntamente com a mobilidade e características físico-químicas que variam da solubilidade em água ao coeficiente de adsorção à matéria orgânica, essas propriedades podem ser identificadas com a utilização do Índice Groundwater Ubiquity Score (GUS) ou Índice de Ubiquidade, conforme identificado os agrotóxicos classificam-se com a tendência à contaminação do domínio subterrâneo ao qual está exposto. O índice GSI (Groundwater Screening Index) demonstra as propriedades químicas utilizando os valores de solubilidade, coeficiente de partição octanol-água que verifica a afinidade da substância com as fases apolar e polar.

O método Goss avalia a contaminação das águas superficiais mediante classificação dos compostos que podem ser transportados dissolvidos em água e os associados ao solo/sedimento em suspensão. O modelo EPA desenvolvido pela agência de proteção ambiental dos Estados Unidos simula a modificação da concentração dos organismos no ecossistema após combinação dos efeitos tóxicos causados por poluentes convencionais, efluentes domésticos não tratados, temperatura, em ambiente aquático como os estuários.

Devido à complexidade do processo e o objetivo da utilização, cada modelo exige variáveis com grau de precisão maior ou menor, porém, o objetivo primordial é monitorar a quantidade de resíduo existente em cada área analisada.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio da FACEPE (G.M.S.P. Processo No. IBPG-1565-3.00/2), da Bolsa CAPES (S.P.U.) e do CNPq(G.M.C.T. Processo No. 314422/2018-8).

REFERÊNCIAS

- MONTERO, Rafael Carrion. Vulnerabilidade e perigo de contaminação dos aquíferos nas subbacias do alto aguapeí e alto peixe - s. 2012. 133p. Dissertação (Engenharia civil e Ambiental) - Mestrado, Bauru, 2012.
- COSTA, Vanessa Indio do Brasil da. Exposição ambiental e ocupacional a agrotóxicos e o linfoma não Hodgkin. Saúde em Debate, Rio de Janeiro, v. 41, p. 49-62, mar. 2017. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/sdeb/a/gq7pCfbPYfCgvJqksVPCgzy/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 22 set. 2021.

PEREIRA, E.D., 2006. Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do solo e do aquífero do Reservatório Batata – São Luís - MA. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Rio Claro.

CARNEIRO, F. F. (Org.). Dossiê ABRASCO: Um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. Rio de Janeiro: Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio, 2015.

SOUZA, Gustavo dos Santos; COSTA, Luciana Cristina Alves da; MACIEL, Alana Coelho; REIS, Fábio David Vasconcelos; PAMPLONA, Ysabely de Aguiar Pontes. Presença de agrotóxicos na atmosfera e risco à saúde humana: uma discussão para a Vigilância em Saúde Ambiental. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/MgCbwzKQ6bYyWMKxhdCJGTg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 set. 2021.

ELOI, Waleska; SANTOS, Sergio. Princípios de Hidrologia Ambiental: hidrologia geral. Hidrologia geral. Disponível em: <http://dspace.agencia.gov.br:8080/conhecerhana/2214>. Acesso em: 23 set. 2021.

SOLDERA, B.C. 2017. Monitoramento dos Níveis Freáticos do Aquífero Bauru (Formação Adamantina) no Município de Assis – SP. 1. ed. São Paulo: ABAS, 2017. v.1, 88p.

LOPES, Diana Filipa Belixa. Modelação da Concentração de Poluentes Agrícolas em Aquíferos. 2017. 188 f. Tese (Doutorado) - Curso de Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial Aplicados Ao Ordenamento, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2017. Disponível em: https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/30458/1/TM_igotul009642.pdf. Acesso em: 23 set. 2021.

MARTINI, Luiz Fernando Dias et al. Risco de contaminação das águas de superfície e subterrâneas por agrotóxicos recomendados para a cultura do arroz irrigado. Ciência Rural, Santa Maria, v. 42, n. 10, p. 1715-1721, jul. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cr/a/vdktPcvDVXJzWJdT8RnmSJg/?format=pdf>. Acesso em: 23 set. 2021

DANOS AMBIENTAIS GERADOS PELA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

ENVIRONMENTAL DAMAGE GENERATED BY THE DISPOSAL OF CIVIL CONSTRUCTION WASTE

DOI: 10.51859/AMPLA.PCE2111-5

Camila Cristina de F. Ferreira¹
Gleice Paula de Araújo²
Leonildo P. Pedrosa Junior³
Galba M. de Campos-Takaki⁴

^{1,2,3} Mestrandos do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais-UNICAP

⁴ Professor Titular, Escola ICAM-Tech. Universidade Católica de Pernambuco– UNICAP

RESUMO

A população mundial cresce a cada ano, tendo atualmente 7,8 bilhões de pessoas onde, cerca de 50% da população vive nos grandes centros urbanos. A medida que a população cresce, cresce também a necessidade de moradias e de obras que facilitem o dia-a-dia dessas pessoas sendo a construção civil o grande setor responsável por estas obras. Assim, a construção civil é uma das atividades humanas que mais crescem em todo mundo. Este crescimento rápido e na maior parte das vezes mal coordenado acaba gerando toneladas de resíduos e que geralmente são descartados sem os devidos cuidados. De modo geral, os resíduos desta atividade produzem impactos significativos no meio ambiente, sendo a falta de políticas públicas e a carência de investimentos em locais apropriados para descarte e reciclagem de entulhos os principais problemas neste tipo de atividade. O trabalho objetivou compreender o processo de monitoramento dos danos ambientais gerados pelo descarte indevido de resíduos da construção civil e possíveis soluções para minimizar os problemas ambientais.

Palavras-chave: Descarte. Entulho. Reaproveitamento. Monitoramento de Danos.

ABSTRACT

The world population grows every year, currently having 7.8 billion people where about 50% of the population lives in large urban centers. As the population grows, so does the need for housing and works that facilitate the day-to-day of these people, with civil construction being the major sector responsible for these works. Thus, civil construction is one of the fastest growing human activities in the world. This rapid and often poorly coordinated growth ends up generating tons of waste, which are usually discarded without proper care. In general, the waste from this activity produces significant impacts on the environment, and the lack of public policies and the lack of investments in appropriate places for the disposal and recycling of debris are the main problems in this type of activity. The work aimed to understand the process of monitoring the environmental damage generated by the improper disposal of construction waste and possible solutions to minimize environmental problems.

Keywords: Discard. Rubble. reuse. Damage Monitoring.

1. INTRODUÇÃO

A construção civil é responsável pelo crescimento econômico do país, através da geração de empregos, renda, insumos, sendo uma das atividades humanas que mais consome recursos naturais, e resultando assim em uma enorme geração de resíduos, que muitas vezes está relacionada à falta de processos adequados e aos materiais disponibilizados para cada serviço.

têm apresentado importância aos requisitos da responsabilidade ambiental, assumindo as obras de construções com metas para reduzir, reutilizar e criar um destino final dos resíduos gerados tendo como objetivo a prevenção e o desenvolvimento de tecnologias limpas (BARDELLA, 2007). No Brasil grande parte desses resíduos não representam grandes riscos ambientais em razão de suas características químicas e minerais serem semelhantes aos agregados naturais e solos. Mas, “diferentes tipos de resíduos como óleos de maquinários utilizados na construção, e telhas de cimento podem contaminar o solo” (KARPINSK et al., 2009, p.22).

O entulho gerado na construção civil resulta diariamente em uma quantidade elevada de resíduos, constituída por argamassa, areia, cerâmicas, concretos, madeiras, pedras, tijolos, gesso, tornando-se um sério problema nas grandes cidades brasileiras. Por isso, segundo determinação da Resolução 307 do CONAMA, as prefeituras foram proibidas de receber os resíduos de construção e demolição no aterro sanitário. Cada município deverá ter um plano integrado de gerenciamento de resíduos da construção civil (CORRÊA, 2009).

Para Kuster (2007), o setor da construção civil deve pensar na diminuição do impacto ambiental causado pelos resíduos, por meio de estratégias como reciclagem ou reuso dos resíduos gerados. Porém com a grande quantidade de resíduos gerados atualmente, torna-se necessário desenvolver planos com urgência para reciclagem. Frigo e Silveira (2012) assinalam que se faz necessário a potencialização do uso de resíduos na geração de matérias-primas secundárias através da reciclagem, com vistas a redução da exploração dos recursos naturais não renováveis, de maneira que contribuam nas condições ambientais dos espaços urbanos.

Deste modo, esta pesquisa tem como objetivo apresentar os tipos de RCCs, destacando resíduos como o gesso e a metralha, assim como os danos ambientais que

eles causam ao ambiente a depender da forma de descarte utilizada na construção civil, destacando as soluções ambientalmente corretas e possíveis a partir de um monitoramento adequado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. RESÍDUOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL (RCCS)

A presente revisão bibliográfica, teve como embasamento dados publicados em artigos científicos, livros, teses, dissertação (LAKATOS e MARCONI, 2008), abrangendo a literatura sobre o tema descarte de resíduos da construção civil. A coleta de dados deu-se por meio de pesquisa bibliográfica que “é desenvolvida a partir de material já elaborado” (GIL,

Os RCCs normalmente são denominados de “entulhos”, e em termos técnicos podem ser conceituados como todo o resíduo de material utilizado da realização de obras em atividades de construção civil, sendo oriundos das etapas de infraestrutura, demolições, reformas, restaurações, reparos e construções novas, ou seja, de acordo com John (2010) é todo o conjunto de fragmentos de pedregulhos, areias, materiais cerâmicos, argamassa, aço e madeira. Os RCCs têm, segundo Ângulo (2000), duas fontes de geração típicas: construção e demolição, e podem ser classificados, de acordo com a Resolução nº 307/2002 do CONAMA como com a Resolução nº 307/2002 do CONAMA como apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Classificação dos resíduos da construção civil segundo a Resolução nº 307/2002 do CONAMA

| Classificação | Tipologia |
|---------------|---|
| Classe A | São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados: a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação inclusive solos provenientes de terraplanagem; b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento, entre outros.), argamassa e concreto; c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meio-fios etc.) |
| Classe B | São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel, papelão, metais, vidros, madeiras e gesso; |
| Classe C | São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem ou recuperação; |

| Classificação | Tipologia |
|---------------|--|
| Classe D | São resíduos perigosos oriundos do processo de construção, tais como tintas, solventes, óleos e outros ou aqueles contaminados ou prejudiciais à saúde oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais e outros, bem como telhas e demais objetos e materiais que contenham amianto ou outros produtos nocivos à saúde. |

Fonte: Resolução nº 307 do CONAMA (2002).

Segundo Lima e Lima (2009), a fase de caracterização é particularmente importante no sentido de identificar e quantificar os resíduos e, desta forma, realizar o planejamento adequado, visando a redução, a reutilização, a reciclagem e a destinação final.

O setor da construção civil é o que mais explora recursos naturais, e o que mais gera resíduos. No Brasil, a tecnologia construtiva normalmente aplicada favorece o desperdício na execução das novas edificações. Em termos quantitativos, esse material corresponde a algo em torno de 50% da quantidade em peso de resíduos sólidos urbanos coletados em cidades com mais de 500 mil habitantes de diferentes países, inclusive o Brasil. Em termos de composição, os resíduos da construção civil são uma mistura de materiais inertes (SILVA, 2017).

Sendo visto como resíduos de baixa periculosidade, os Resíduos da Construção Civil, tem um impacto significativo devido ao seu grande volume. Podendo acumular água e favorecer a proliferação de insetos e de outros vetores de doenças além de representar um grave problema em muitas cidades brasileiras, e a disposição irregular desses resíduos pode gerar problemas de ordem estética, ambiental e de saúde pública, pois nesses resíduos também há presença de material orgânico, produtos químicos, tóxicos e de embalagens diversas (POTT, 2017).

Assim, caracterizaremos brevemente os impactos ambientais oriundos dos RCCs e Dentre todos os materiais classificados tal, trataremos mais especificamente de dois resíduos que podem causar sérios danos ao meio ambiente: o gesso e a metralha, buscando apresentar soluções de minimizar os danos causados por esses materiais.

2.2. IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

De acordo com Sanchez (2008), o conceito de impacto ambiental pode ser buscado na terminologia da palavra, a qual se origina do latim: impactu e significa choque ou colisão de substâncias nos três estados físicos da matéria (sólido, líquido e gasoso) de radiações ou formas variadas de energia, vindas de obras ou atividades realizadas com danosas alterações do ambiente natural, artificial, cultural ou social.

Ao longo da cadeia produtiva, o setor de construção civil gera diversos impactos ambientais. Para Mechi e Sanches (2010), a extração de minerais utilizados na construção civil como areia, rocha britada, calcário, argila, caulim, ferro e cobre demandam enormes escavações para a retirada do bem mineral e na supressão da vegetação ou no impedimento de sua regeneração, resultando em grande volume de rejeito e, conseqüentemente, em significativos impactos ambientais negativos. Em muitos casos, o solo superficial de maior fertilidade é também removido, levando a maior exposição de solos remanescentes a processos erosivos que podem acarretar assoreamento dos corpos d'água do entorno. A qualidade das águas a jusante do empreendimento pode ser prejudicada pela turbidez causada por sedimentos finos em suspensão, além da poluição decorrente da lixiviação e carreamento de substâncias das áreas de mineração como óleos, graxa e metais pesados (MECHI; SANCHES, 2010).

Agopyan e John (2011) afirmam que a construção civil é um dos principais consumidores de recursos naturais quando comparada com outros setores produtivos. Na medida em que os materiais se movem ao longo do seu ciclo de vida, são gerados resíduos de construção civil que, se não são gerenciados de forma adequada, podem causar diversos impactos socioambientais. Estas mudanças podem ser provocadas por diversas formas de energia ou matéria resultante de atividades antrópicas que afetam direta ou indiretamente a saúde, segurança da população, atividades econômicas e sociais, a biota e a disposição dos recursos do ambiente.

A Resolução do CONAMA nº 01 de 23/01/86 define Impacto ambiental como qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente resultante de atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetem a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as

condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e a qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1988).

À medida que os materiais extraídos para o setor da construção civil se movem ao longo do seu ciclo de vida, resíduos são gerados. E, quando gerenciados e dispostos incorretamente, continuam causando relevantes impactos ambientais negativos como degradação e poluição do solo, comprometimento dos corpos d'água e mananciais, obstrução dos sistemas de drenagem, intensificação de enchentes, degradação da paisagem urbana, ocupação de vias e logradouros públicos por resíduos, proliferação de moscas, baratas, ratos e outros vetores de importância sanitária nos centros urbanos (WU, et al. 2014).

Assim, com a falta de compromisso dos geradores no manejo e, principalmente, na destinação dos resíduos, provocam diversos impactos ambientais atrelados, também, a falta de efetividade, a inexistência de políticas públicas que disciplinem e ordenem a destinação dos Resíduos de Construção Civil nas cidades.

2.3. GESSO COMO RCC E ALTERNATIVAS PARA MONITORAMENTO

O gesso é um material que vem sendo altamente empregado na construção civil, graças a seu potencial em resistência, isolamento térmico e acústico, alta durabilidade, facilidade na montagem e baixo custo. Sua utilização vem crescendo gradativamente neste setor ao longo dos últimos anos, devido às características já mencionadas. No entanto há um problema preocupante em relação aos resíduos gerados pela aplicação do gesso na construção civil, na qual gera consequências econômicas e de impacto ambiental.

No aspecto econômico, verificou-se por meio de pesquisas realizadas, medições de perdas de materiais na construção civil, através do projeto FINEP HABITARE, estimando-se que o desperdício de gesso na indústria da construção civil é de 45%, enquanto os fabricantes do gesso em pó estimam perdas em torno de 30% da massa de gesso. Estes resíduos sólidos provenientes desses desperdícios, na maioria das vezes acabam sendo direcionados para aterros sanitários ou terrenos baldios provocando a contaminação do meio ambiente, pois o gesso é considerado um material tóxico que libera íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} que alteram a alcalinidade do solo e podem ocasionar uma contaminação dos lençóis freáticos.

Esses fatores forçaram o desenvolvimento de tecnologias e/ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação. Muito embora o gesso represente uma porcentagem pequena comparado com os outros componentes, seu destino final deve receber atenção, pois, foi alterado pela Resolução nº 431 de 24 de maio de 2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), como resíduo da classe C para classe B, classificando-se como reciclável. Por ter sua classificação alterada recentemente, necessita de técnicas de reciclagem e reaproveitamento (PICOLLOTTO; WERNER, 2011).

Com essa alteração o gerador terá mais alternativas para destinação do gesso, podendo conseguir transferir valores positivos e viáveis economicamente. As alternativas estão relacionadas ao reprocesso produtivo do gesso, na indústria de cimento onde atua como retardador, na produção do gesso agrícola, atuando também na correção de acidez do solo, na compostagem, forração para animais, absorvente de óleo e secagem de lodo (PICOLLOT; WERNER, 2011).

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2011), o uso dessas alternativas é recomendado quando na camada subsuperficial (20-40) a saturação por alumínio for superior a 20% e/ou a saturação de cálcio for menor que 60% da CTC efetiva.

Outra aplicação para o uso da reciclagem do gesso está relacionada à produção de Cimento, pois, de acordo com M. John (2003) a gipsita é adicionada ao cimento Portland na etapa de moagem do clínquer para controlar a pega. No entanto esta atividade exige elevada pureza do produto e dificilmente será importante na reciclagem do gesso reciclado, particularmente porque existem em muitas regiões outras fontes de sulfato de cálcio, como o fosfogesso e o resíduo de gesso industrial, de elevada pureza.

Ainda, no que se refere ao reaproveitamento e reciclagem deste material, pode-se citar no fluxograma do Ciclo do Gesso (Figura 1), a reciclagem do resíduo de gesso como aglomerante, que John (2003) aponta o processo de hidratação do gesso de construção puro como resultante em produto com composição exatamente igual a que o originou, a gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

A reciclagem de resíduos de gesso aglomerante demanda além da moagem, remoção de impurezas, como o papel, uma calcinação a baixa temperatura. As reações são as seguintes:



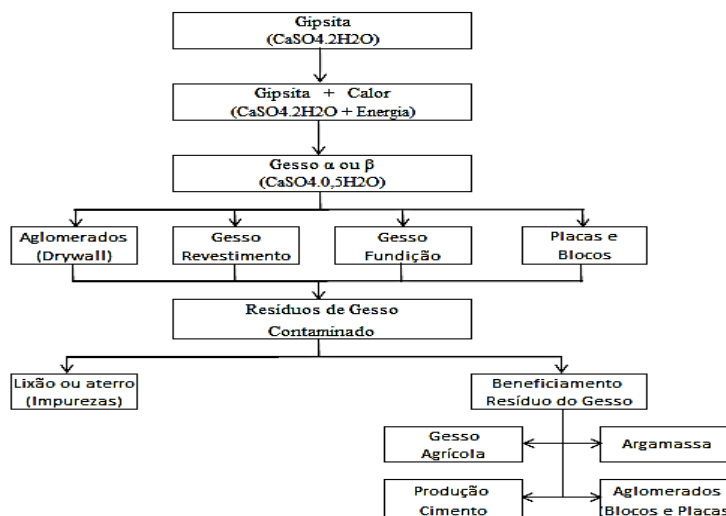
Figura 1. Fluxograma do Ciclo do gesso



Fonte: Autoria própria.

A Argamassa de gesso pode ser mais uma alternativa, considerando que Antunes (2002) assinala que o emprego de argamassas de gesso está consolidado na normalização internacional, e através da realização de uma pesquisa de campo realizada pela autora verificou que as argamassas de gesso são viáveis do ponto de vista da resistência de aderência, uma vez que os dados permitiram sugerir que mesmo traços mais pobres que o 1:3 ensaiado pode apresentar desempenho satisfatório do ponto de vista da resistência de aderência, de acordo com o fluxograma apresentado na Figura 2.

Figura 2. Fluxograma do processo de produção do gesso e utilização do resíduo



Fonte: adaptado de Peres, Benachour e Santos (2008).

2.4. METRALHAS COMO RCC E ALTERNATIVAS PARA MONITORAMENTO

A NBR – 10.004 (ABNT, 2004) define resíduos sólidos como resíduos no estado sólido ou semissólido que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Frequentemente, os resíduos sólidos de construção e demolição são classificados como Resíduos Classe II B – Inertes que, de acordo com a norma, são: “Quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor (ABNT, 2004, p. 5).”

Por não serem putrescíveis, os RCDs transmitem a ideia de serem menos agressivos à saúde e ao ambiente. Assim, tais resíduos acabam recebendo menos atenção que os demais. Entretanto, constatou-se que seu impacto se dá muito mais pelo excesso de volume gerado. Estima-se que em algumas cidades brasileiras, a geração média de RCDs é de 500 kg/hab/ano (PINTO, 2005). Os RCDs podem conter substâncias perigosas, como adesivos, tintas, óleo, baterias, biocidas incorporados a madeiras tratadas, sulfatos provenientes da dissolução de gesso, e outros, agravando o impacto da contaminação do solo, águas e ar (DEGANI, 2003). Segundo Pinto (1999), é relativamente baixa, na composição dos RCD, a presença de resíduos perigosos (produtos ácidos, inflamáveis e outros), no entanto sua importância não deve ser inferiorizada, sendo necessário proceder e tratar essa parcela adequadamente.

Os resíduos perigosos podem impactar o meio ambiente de diversas maneiras, por exemplo: pela contaminação química do solo por penetração de substâncias tóxicas, como tintas e solventes; deterioração da qualidade do ar pelo desprendimento de gases tóxicos, como compostos orgânicos voláteis; poluição de águas subterrâneas, pela percolação de resíduos perigosos pelo solo, atingindo o lençol freático; e alteração das condições de saúde do trabalhador, por exemplo, pela inalação ou manejo inadequado de substâncias nocivas à saúde (ARAÚJO, 2009, p.74).

O entulho de construção civil é composto basicamente por Tijolos, Cimento e Madeira. Cada componente possui uma composição diferente, onde, os

A PRODUÇÃO DO CONHECIMENTO NAS ENGENHARIAS: NOVAS FRONTEIRAS, TECNOLOGIAS E DESAFIOS

Diagrama do ciclo de vida dos materiais de construção:

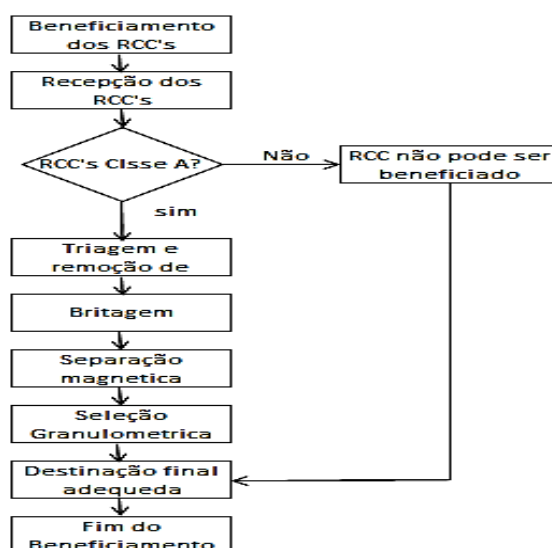
- Tijolos (Argila)**: Produzidos a partir de argila.
- Cimento (Calcário + Argila)**: Produzido a partir de calcário e argila.
- Madeira (Celulose)**: Produzida a partir de celulose.
- Entulho**: Resíduos de construção que são reciclados para produzir tijolos e cimento.
- Decomposição microbiana da celulose**: Processo que transforma a madeira em nutrientes.
- Participa do ciclo do carbono**: Os materiais são reincorporados ao solo, fechando o ciclo.

62

Entre as possíveis soluções para o aproveitamento do RCCs estão: a) o agregado para concreto não estrutural, que são resíduos processados pelas usinas de reciclagem, podendo ser utilizados a partir da substituição dos agregados convencionais (areia e brita); b) o agregado para confecção de argamassa que são originados após o processado por equipamentos denominados argamasseiras, que moem o entulho na própria obra, em granulometrias semelhantes às da areia, que podem também serem utilizados como agregados para argamassas de assentamento e revestimento; c) pavimentações que são empregadas nas reutilizações de resíduos reciclados como base, sub-base, revestimento primário, na forma de brita corrida ou em mistura de resíduo com o solo; d) cascalhamento de estradas, preenchimento de vazios em construções, preenchimento de valas de instalações e reforços de aterros (gabiões).

Fagury Grande (2007) acredita que os resíduos dos canteiros de obras podem ser empregados novamente como material de construção se devidamente reciclados. No caso dos blocos, tijolos e cerâmicas, é possível reutilizar sem serem necessários processos de tratamento. Os solos, a areia e a argila podem ser utilizados em obras viárias (Figura 4). Quanto aos metais ferrosos, podem ser reciclados e reaproveitados pelo setor de metalurgia.

Figura 4. Fluxograma de Gerenciamento de RCC's e aproveitamento da metralha



Fonte: LOPES & PERTEL, 2021.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização desta pesquisa possibilitou uma melhora significativa nos conhecimentos dos pesquisadores quanto ao gerenciamento de RCCs, de modo que se percebe como urgente no setor de construção civil, que haja uma busca por alternativas de minimizar os impactos ambientais ocasionados pela geração desses resíduos, através de práticas que envolvam a reutilização e reciclagem de materiais de construção inutilizados e descartados de forma irresponsável pelos seus geradores.

Em virtude do que foi mencionado, os pesquisadores sugerem com forma de combate ao desperdício e minimização dos impactos ambientais e econômicos, a utilização dos resíduos gerados na produção de blocos para erguer paredes (resíduo de gesso) e utilização nos pontos estruturais e como agregado para misturas de argamassa e concreto (metralha) na construção de casas de baixa renda para população carente das cidades do país.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio da FACEPE (C.C.F.F. Processo No. IBPG-1589-3.00/21), Bolsa CAPES (G.P.A. e L.P. Pedrosa Júnior) e CNPq (G.M.C.T. Processo No. 314422/2018-8).

REFERÊNCIAS

- AGOPYAN, V.; JOHN, V. M. O desafio da sustentabilidade na construção civil. Goldemberg, J. (coord.) São Paulo: Blucher, 2011. vol. 5.
- ÂNGULO, S.C. Variabilidade de agregados graúdos de resíduos de construção e demolição reciclados. Dissertação (Mestrado) 2000, 155p. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.
- Antunes, Rubiane Paz do Nascimento; Vanderley Moacyr John. Argamassa de Gesso. São Paulo, 2002. Disponível em: <http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/3409/1823>, consultado dia 02/04/2011
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR Nº 1004: Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, maio 2004. 71p.

- BARDELLA, J. Aprimoramento da empresa ecomoradias. João de Barro, 2007. Disponível em: http://www.faccamp.br/.../Proj_Aceleracao_de_Negocios_Eco_moradias.pdf. Acesso em: set. 2021.
- BRASIL. 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. Brasília: Diário Oficial da União, 2010.
- BRASIL. Presidência da República. Constituição da República Federativa do Brasil, de 05 de outubro de 1988. Diário Oficial da União, 191-A de 05/10/1988, Brasília, DF. Disponível em: <www.legislacao.planalto.gov.br/>. Acesso em: 19 set. 2021.
- BRASIL. Lei n. 12.305 de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei n. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>. Acesso em: 19 de set. 2021.
- CONAMA. Resolução n. 307, de 05 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. Disponível em: . Acesso em: 22 set. 2021.
- CORRÊA, Lásaro Roberto. Sustentabilidade na construção civil. Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <http://www.especializacaocivil.demc.ufmg.br/.../Sustentabilidade%20na%20Co..> Acesso em: set. 2021.
- DEGANI, C. M. Sistemas de gestão ambiental em empresas construtoras de edifícios. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.
- FAGURY, S.C; GRANDE, F.M. Gestão de resíduos de Construção de Demolição RCD: aspectos gerais da gestão pública de São Carlos/SP. São Carlos, SP. 2007.
- John, V. M.; Cincotto, M. A. Alternativas da gestão de resíduos de gesso. Contribuição para reformulação da Resolução CONAMA 307, São Paulo, Julho 2003. 9 p. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/artigos1.htm>. Consultado dia 20/03/2011. Acesso em set. 2021
- KARPINSK, Luisete Andreis, et al. Gestão diferenciada de resíduos da construção civil: uma abordagem ambiental. Dados eletrônicos. Porto Alegre: EDI/PUC/RS, 2009, 163p. Disponível em: http://www.pucrs.br/edipucrs/gestao_deresiduos.pdf. Acesso em set. 2021.
- LAKATOS, E. M.; ANDRADE, M. M. de. Metodologia do trabalho científico. Atlas: São Paulo, 2008.
- LOPES, A.B., PERTEL, M. Alternativas do Impacto Ambiental Causado pelos Resíduos da Construção Civil. Revista Boletim do Gerenciamento. nº22, pp. 20-31, 2021.

MECHI, A.; SANCHES, D. L. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. Estudos Avançados, v. 24, n. 68, jan./abr. 2010, p. 209-220.

PINTO, T. P. (Coord.) Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do Sinduscon-SP, São Paulo: Obra Limpa: I&T: Sinduscon-SP, 2005.

POTT, C. M.; ESTRELA, C. C. Histórico ambiental: desastres ambientais e o despertar de um novo pensamento. Estudos avançados, v. 31, n. 89, 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v31n89/0103-4014-ea-31-89-0271.pdf>>. Acesso em: 19 set. 2021.

SANTOS, Helaine Neves dos; CÂNDIDA, Ana Cláudia; FERREIRA, Tânia Karla Silva. Ações referentes a gestão de resíduos da construção civil em Araguari-MG. In: XVI Encontro Nacional dos Geógrafos – Crise, práxis e autonomia: espaços de resistência e de esperanças, AGB/ENG, de 25 a 31 de julho de 2010. Anais... Porto Alegre, RS, 2010.

SÁNCHEZ, L. E. Avaliação de Impacto Ambiental: Conceitos e Métodos. 2ª Edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2008, 495p.

SILVA, L. R. M.; MATOS, E. T. A. R.; FISCILETTI, R. M. D. S. Resíduo Sólido Ontem e Hoje: Evolução Histórica dos Resíduos Sólidos na Legislação Ambiental Brasileira. Revista AREL FAAR. Amazon's Research na Environmental Law, 5 (2), 126-142. 2017.

PERES, Luciano; BENACHOUR, Mohand; SANTOS, Valdemir A. Gesso: Produção e utilização na construção civil. 1.ed. Recife: Sebrae, 2008. 119 p.

WU, X.; RAMESH, M.; HOWLETT, M.; FRITZEN, S. Guia de políticas públicas: gerenciando processos. Tradução de Ricardo Avelar de Souza. Brasília: Enap, 2014.

ALTERAÇÕES QUÍMICAS E ECOTOXICOLÓGICAS EM ÁGUAS DE CAVAS DE MINERAÇÃO

CHEMICAL AND ECOTOXICOLOGICAL CHANGES IN MINING CAVWATER

DOI: 10.51859/AMPLA.PCE2111-6

Marcelly F. Alves ¹
Bruna G. Andrade de Lima ²
Galba M. Campos Takaki ³

^{1,2} Mestrandas do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais-UNICAP

³ Professora Titular, Escola ICAM-Tech. Universidade Católica de Pernambuco— UNICAP

RESUMO

Cavas de mineração ou os lagos artificiais, formados em áreas de mineração a céu aberto são unidades complexas oriundas de atividades da indústria de mineração, que vem aumentando em número em várias partes do globo. Isso caracteriza um problema ambiental, especialmente se tratando da qualidade e a toxicidade de suas águas, que podem apresentar riscos preocupantes, dependendo do seu potencial de contaminação. Estudos foram realizados com amostras de águas coletadas em três cavas de ouro desativadas localizadas em Mara Rosa, Goiás, Brasil, foram obtidas em diferentes estações climáticas e submetidas à análise de metais. Os resultados indicam diferentes graus de comprometimento ambiental dos lagos, que apresentam águas e sedimentos alterados quimicamente e oferecem riscos toxicológicos, principalmente o Lago Azul. A metodologia de avaliação ambiental empregada com a finalidade de obter respostas mais amplas e profundas a respeito de cavas, problemas ambientais emergentes, se mostrou eficiente, podendo se constituir em uma ferramenta analítica que contribuirá de forma significativa para a ampliação do conhecimento a respeito de cavas de mineração. Estudos foram desenvolvidos que contribuíram significativamente para um entendimento mais profundo a respeito do grau de comprometimento ambiental de cavas. Nesta pesquisa foi analisado por meio de comparações de alguns trabalhos com a literatura, os passivos ambientais formados por águas de cavas de mineração mediante a aplicação de uma metodologia combinada de avaliação ambiental embasada em aspectos da Química e Ecotoxicologia. Artigos que não estiverem de acordo com as diretrizes presentes neste modelo, não serão encaminhados para avaliação.

Palavras-chave: Mineração. Impacto ambiental. Lagos Artificiais. Comprometimento Ambiental.

ABSTRACT

Mining pits or artificial lakes formed in open pit mining areas are complex units arising from mining industry activities, which are increasing in number in various parts of the globe. This characterizes an environmental problem, especially when it comes to the quality and toxicity of its waters, which can present worrying risks, depending on their potential for contamination. Studies were carried out with water samples collected in three deactivated gold pits located in Mara Rosa, Goiás, Brazil, obtained in different climatic seasons and submitted to metal analysis. The results indicate different degrees of environmental compromise of the lakes, which present chemically altered waters and sediments and offer toxicological risks, mainly Lago Azul. The methodology of environmental assessment used in order to obtain broader and deeper answers regarding pits, emerging environmental problems, proved to be efficient and could constitute an analytical tool that will significantly contribute to the expansion of knowledge about pits. mining. Studies have been developed that significantly contribute to a deeper understanding of the degree of environmental compromise of pits. In this research, it was analyzed through comparisons of some works with the literature, the environmental liabilities formed by water from mining pits through the application of a combined methodology of environmental assessment based on aspects of Chemistry and Ecotoxicology. Articles that do not comply with the guidelines present in this template will not be sent for evaluation.

Keywords: Mining. Environmental impact. Artificial Lakes. Environmental Commitment.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil detém um enorme patrimônio mineral, sendo um dos maiores produtores e exportadores de minérios do mundo. Produz 72 substâncias minerais, das quais 23 são metálicas, 45, não-metálicas e 4, energéticas. O minério de ferro lidera com 60% do valor total da produção mineral brasileira, e em segundo lugar o ouro, com apenas 5%. Apesar de gerar riqueza e crescimento econômico, sendo um dos importantes setores da economia brasileira, a indústria extrativa mineral está entre as atividades antrópicas que mais causam impactos socioeconômicos e ambientais negativos, afetando, portanto, o território onde se realiza a mineração (ARAÚJO, 2014).

A exploração mineral é uma das bases econômicas do mundo contemporâneo. Historicamente, a atividade sempre desempenhou papel importante na balança comercial de diversos países, notadamente do Brasil dada a elevada disponibilidade de minérios existentes no território nacional (ARAÚJO, 2016). Contudo, a atuação do setor provoca profundas transformações no meio natural, incluindo a remoção da cobertura vegetal, o deslocamento de grandes volumes de terra, o esgotamento e a poluição de coleções hídricas superficiais e subterrâneas e a modificação da paisagem. Muitas dessas modificações são definitivas, como no caso das cavas de mineração, também conhecidas como “pit lakes” (BRAZ et al., 2015).

Os efeitos ambientais negativos da extração mineral estão associados às diversas fases de exploração dos bens minerais, desde a lavra até o transporte e beneficiamento do minério, podendo estender-se após o fechamento da mina ou o encerramento das atividades. A indústria da mineração é conhecida por desencadear grandes impactos ambientais, como no caso da Barragem do Fundão (em Mariana, MG), rompida recentemente. O evento provocou a introdução de milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração no Rio Doce e no Oceano Atlântico, um cenário de degradação que levará décadas para ser revertido (LOPES, 2016). A revisão da literatura está dirigida para os impactos ambientais decorrentes da mineração.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os principais impactos ambientais da mineração são o aumento da turbidez e variação da qualidade da água, alteração do seu pH, ficando a água mais ácida, contaminação do solo e da água com metais pesados, redução do oxigênio dissolvido nos ecossistemas aquáticos, assoreamento de rios, poluição do ar. Provocando também desmatamentos, erosão, contaminação dos corpos hídricos, aumento da dispersão de metais pesados, alterações da paisagem, do solo, além de comprometer a fauna e a flora. Afeta o modo de viver e a qualidade de vida das populações estabelecidas na área minerada e em seu entorno. Esses impactos ambientais negativos, quando não são detectados e corrigidos, se transformam num passivo ambiental, o que tem acontecido com frequência no Brasil (PAIVA, 2006). Alguns exemplos são lapidares, como as minas abandonadas de ouro, muitas datando de centenas de anos, sendo ainda hoje fonte significativa de poluição. A exploração de carvão também deixa sérios passivos ambientais, não resolvidos (ARAUJO, 2014).

Neste sentido, muitos esforços têm sido empreendidos a partir da necessidade de prevenir, mitigar ou controlar a geração da drenagem ácida de minas (DAM). As ações englobam o controle das fontes primárias (sulfetos), para minimizar a exposição à oxidação de rochas sulfetadas, confinamento e processamento de sulfetos, a redução da cinética (velocidade) do processo de drenagem ácida com o manejo de materiais neutralizadores, minimização da disponibilidade de ar e água e criação de ambientes redutores e Confinamento e o Tratamento das Consequências por meio da contenção de águas contaminadas e do tratamento de efluentes. A utilização de árvores em processos de recuperação ambiental traz inúmeras vantagens para a recondução do processo de sucessão ecológica. As árvores podem melhorar ou recuperar a qualidade de um solo, já que algumas espécies poderem incrementar o teor de N no solo por meio da fixação de N₂ atmosférico com associações simbióticas com bactérias do gênero *Rhizobium* e *Bradyrhizobium*. As árvores criam condições favoráveis ao desenvolvimento de meso e microfauna e microflora, melhorando as características físicas, químicas e biológicas na região do entorno de raízes, resultando em profundo efeito benéfico sobre o crescimento de plantas e de características do solo (FRANCO e CAMPELLO, 2007).

Pelo fato de os lagos de mineração terem comportamento complexo, sua gestão se mostra desafiadora. Adicionalmente, os impactos advindos do pós-fechamento de minas, em especial de cavas, é um tema ainda pouco discutido no âmbito mundial devido ao fato de muitos empreendimentos não terem chegado à fase de desativação e também de a recuperação ambiental de áreas mineradas, quando realizada, ainda seguir práticas convencionais e pouco eficientes no sentido de evitar o surgimento de áreas contaminadas. Este trabalho objetivou discutir os principais estudos sobre impactos ambientais de cavas a céu aberto desenvolvidos mundialmente.

As Cavas Subterrâneas e a Céu Aberto são técnicas muito utilizadas no processo de mineração. Cavas surgem após o esgotamento de jazidas exploradas a céu aberto, sendo normalmente preenchidas por influxos de águas de origem subterrânea e pluvial, formando lagos artificiais. Quando os minerais se encontram em níveis muito abaixo da superfície, onde há grande camada de terreno de cobertura, ou quando ocorrem por meio de veios nas rochas, usa-se a metodologia de cavas subterrâneas (CARDOSO JÚNIOR et al., 2018).

A mineração através do processo de cavas a céu aberto é muito utilizada quando há depósitos de rochas ou minerais em menor profundidade em relação à superfície. As cavas a céu aberto são exploradas até a relação minério/estéril tornar-se inviável economicamente, ou até o esgotamento do recurso mineral. Pit lakes são considerados um problema ambiental emergente e de intensificação crescente em praticamente todos os continentes, por apresentarem comportamento ambientalmente complexo, muitos se apresentam qualitativamente comprometidos, oferecendo riscos aos seres vivos e tornando sua gestão ambiental desafiadora (BÁRBARA et al., 2018).

Não são raros os casos de acelerada diminuição da qualidade de recursos naturais como solo e águas superficiais e subterrâneas em áreas mineradas, especialmente na fase de pós-operação de empreendimentos que, muitas vezes, são abandonados sem que tenham sido implementadas todas as medidas de controle e recuperação ambiental necessárias (CALIJURI, 2013).

Ao longo do tempo, devido à intemperização geoquímica, as águas de cavas tendem a se alterar quimicamente, muitas vezes se tornando ácidas e enriquecidas com elementos químicos potencialmente tóxicos. Normalmente, isso ocorre devido ao processo de drenagem ácida de mina (DAM), desencadeado quando minerais sulfetados

originalmente em condições de equilíbrio são expostos às águas pluviais e ao ar, desprendendo um percolado ácido e rico em metais dissolvidos. A DAM se constitui em um dano ambiental de longo prazo comumente observado em jazidas de minerais nobres, especialmente ouro e prata (AYUSO et al., 2013).

Embora, imprescindível para o desenvolvimento da sociedade, a indústria mineral é conhecida como uma das atividades humanas que mais impacta o meio natural. Dependendo do tipo de mineral explorado, são produzidos impactos mais ou menos intensos, podendo-se destacar a contaminação do meio natural provocada pela drenagem ácida de mina (DAM). As águas de cavas costumam ser quimicamente alteradas pela DAM, tornando-se ácidas e ricas em substâncias químicas contaminantes, adquirindo, assim, potencial de degradação ambiental, formada quando minerais sulfetados reativos às intempéries e originalmente em condições de equilíbrio, são expostos às águas pluviais e ao ar, reagindo quimicamente e desprendendo um percolado ácido e rico em metais tóxicos dissolvidos. Esse fenômeno normalmente se constitui em um dano ambiental de longo prazo, sendo muito observado em jazidas de minérios nobres, especialmente ouro e prata (ROMERO et al., 2010).

Todos os impactos ambientais causados podem ter efeitos danosos no equilíbrio dos ecossistemas, tais como a redução ou destruição de hábitat, afugentamento da fauna, morte de espécimes da fauna e da flora terrestres e aquáticas, incluindo eventuais espécies em extinção, interrupção de corredores de fluxos gênicos e de movimentação da biota, entre outros. Em relação ao meio antrópico, a mineração pode causar não apenas o desconforto ambiental, mas também impactos à saúde causados pela poluição sonora, do ar, da água e do solo. A desfiguração da paisagem é outro aspecto gerado pela mineração cujo impacto depende do volume de escavação e da visibilidade em razão de sua localização (MECHI, 2010).

Devido aos impactos ambientais causados, toda atividade de mineração implica supressão de vegetação ou impedimento de sua regeneração. Em muitas situações, o solo superficial de maior fertilidade é também removido, e os solos remanescentes ficam expostos aos processos erosivos que podem acarretar assoreamento dos corpos d'água do entorno. A qualidade das águas dos rios e reservatórios da mesma bacia, a jusante do empreendimento, pode ser prejudicada em razão da turbidez provocada pelos sedimentos finos em suspensão, assim como pela poluição causada por

substâncias lixiviadas e carregadas ou contidas nos efluentes das áreas de mineração, tais como óleos, graxa, metais pesados. Estes últimos podem também atingir as águas subterrâneas. Com frequência, a mineração provoca a poluição do ar por particulados suspensos pela atividade de lavra, beneficiamento e transporte, ou por gases emitidos da queima de combustível. Outros impactos ao meio ambiente estão associados a ruídos, sobrepressão acústica e vibrações no solo associados à operação de equipamentos e explosões (MECHI, 2010).

Dependendo do uso que se pretende dar às cavas, avaliações mais amplas e profundas são necessárias para que se compreenda melhor os riscos potenciais associados a esses ambientes. Nesse sentido, análises ecotoxicológicas são entendidas como alternativas avançadas de monitoramento e avaliação do meio natural, pois agregam aspectos nas avaliações ambientais, possibilitando obter respostas mais profundas sobre o recurso analisado. Bioensaios são desenvolvidos com organismos-teste específicos que, após expostos às substâncias de interesse, fundamentam o estabelecimento de relações de causa e efeito, permitindo antever os riscos potenciais a que o meio natural possa estar exposto caso entre em contato com elementos tóxicos (SÄMY et al., 2010).

Os seres vivos mantêm uma constante troca de matéria com o meio ambiente, do qual retiram os elementos químicos utilizados em seus ciclos de vida, mas que, posteriormente, são devolvidos ao primeiro. Esses processos constituem os ciclos biogeoquímicos. Todos os organismos que habitam a Terra vivem em maior ou menor regime de interdependência com demais fatores bióticos e abióticos, de modo a constituir ciclos interdependentes tão necessários para a manutenção da vida neste planeta. Quando desses ciclos se alteram por algum fator externo, como por exemplo contaminação por metais pesados, ocorre um desequilíbrio químico e biológico (BLANCHETTE et al., 2016; BÁRBARA et al., 2018).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A contaminação por metais pesados é, sem dúvida, uma das formas mais terríveis de poluição, pois eles apresentam, além de um grande efeito tóxico, um poder de acumulação nos seres humanos altíssimo. Ou seja, além de contaminarem o

ambiente, contaminam o próprio homem, causando efeitos danosos em grande extensão. O fato é que, compreender a dinâmica dos ciclos biogeoquímicos nos auxilia a entender alguns impactos ambientais comum no dia a dia, e que em geral, são causados por ações antrópicas desmedidas. Como por exemplo, a exploração mineral, principalmente, as cavas a céu aberto. Cavas surgem após o esgotamento de jazidas exploradas a céu aberto, sendo normalmente preenchidas por influxos de águas de origem subterrânea e pluvial, formando lagos artificiais. Essas cavas tendem a passar por mudanças ao longo do tempo que podem tornar suas águas impróprias ao uso e potencialmente tóxicas, exigindo ações prévias de controle e monitoramento.

Apesar das vantagens principalmente econômicas que justificavam a escolha da cava como alternativa de abastecimento, como sua pré-existência e a distância relativamente pequena de transporte da água, o estudo alertou para o fato de que lagos de mineração tendem a se tornar pontos de acumulação de metais, sendo necessária a realização de uma gestão segura no sentido de se garantir temporalmente a qualidade hídrica e evitar, assim, prejuízos a usos futuros.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Bolsas CAPES (M.P.A. e B.G.A.L.) e ao CNPq (G.M.C.T. Processo No. 314422/2018-8).

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, Eliane Rocha; OLIVIERI, Renata Damico; FERNANDES, Francisco Rego Chaves. Atividade mineradora gera riqueza e impactos negativos nas comunidades e no meio ambiente, 2014.
- ARAÚJO, E. R.. Fechamento de minas no Brasil: aspectos legais e consequências sobre o meio ambiente e populações locais. Rio de Janeiro: Centro de Tecnologia Mineral, 2016.
- AYUSO, R. A.; FOLEY, N. K.; SEAL, R. R.; BOVE, M.; CIVITILLO, D.; COSENZA, A.; GREZZI, G.. Lead isotope evidence for metal dispersal at the Callahan Cu-Zn-Pb mine: goose pond tidal estuary, Maine, USA. *Journal of Geochemical Exploration*, v.126-127, p.1-22, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.12.013>
- ANSARI, T.M.; MARR, I.L.; TARIQ, N. Heavy metals in marine pollution perspective: a mini review. *Journal of Applied Sciences*, 4: 1-20. 2004.

- ANTUNES, I.M.H.R.; GOMES, M.E.P.; NEIVA, A.M.R.; CARVALHO, P.C.S.; SANTOS, A.C.T. Potential risk assessment in stream sediments, soils and waters after remediation in an abandoned W4Sn mine (NE Portugal). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 133:135-145. 2016.]
- ANTUNES, S.C.; DE FIGUEIREDO, D.R.; MARQUES, S.M.; CASTRO, B.B.; PEREIRA, R.; GONÇALVES, F. Evaluation of water column and sediment toxicity from an abandoned uranium mine using a battery of bioassays. *Science of the Total Environment*, 374: 252-259. 2007.
- AHMAD, I.; ZAFAR, S.; AHAMAD, F. Heavy metal biosorption potencial os *Aspergillus* and *Rizopus* sp. isolated from wastewater treated soil. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 9: 123-126. 2005.
- ARUNAKUMARA, K.K.I.U.; XUECHENG, Z. Heavy metal bioaccumulation and toxicity with special reference to microalgae. *Journal of Ocean University of China*, 7: 60-64. 2008.
- AZEVEDO, F.A.; CHASIN, A.A.M. As bases toxicológicas da ecotoxicologia. São Carlos, SP: Rima. 2004.
- BÁRBARA, V. F.; TAVARES, M. G. O.; ANTONIOSI FILHO, N. R.. Impactos ambientais de cavas de mineração: uma revisão. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n.48, p.80-96, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5327/Z2176-947820180287>
- BRAZ, A.; SOKOLOWSKI, H.. Diagnóstico ambiental e planejamento da paisagem sob uma perspectiva sistêmica: estudo da mineração de areia e brita no Rio Paraná, município de Três Lagoas (MS). *Eletrônica AGB-TL*, n.22, p.121-155, 2015.
- BERTOLETTI, E. Determinação da toxicidade crônica para *Danio rerio*. *Jornal da Sociedade Brasileira de Ecotoxicologia*, 4: 1-7. 2009.
- CZOP, M.; MOTYKA, J.; SRACEK, O.; SZUWARZYNSKI, M. Geochemistry of the hyperalkaline Gorka pit lake (pH>13) in the Chrzanow region, southern Poland. *Water, Air, and Soil Pollution*, 214: 423-434. 2011.
- EDBERG, F.; ANDERSON, A.F.; HOLMSTRÖM, S.J.M. Bacterial community composition in the water column of a lake formed by a former uranium open pit mine. *Microb Ecol*, 64: 870-880. 2012.
- CALIJURI, M.C.; CUNHA, D.G.F. Engenharia ambiental: conceitos, tecnologia e gestão. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier. 2013.
- CÁNOVAS, C.R.; PEIFFER, S.; MACÍAS, F.; OLÍAS, M.; NIETO, J.M. Geochemical processes in a highly acidic pit lake of the Iberian Pyrite Belt (SW Spain). *Chemical Geology*, 395: 144-153. 2015.



- INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. Gestão para a sustentabilidade na mineração. Brasília, DF: IBRAM. 2013.
- KOSCHORRECK, M.; WENDT-POTTHOFF, K. A sediment exchange experiment to assess the limiting factors of microbial sulfate reduction in acidic mine pit lakes. *Journal Soils Sediments*, 12: 1615-1622. 2012.
- PESSOA, G.P.; SILVEIRA, P.M.; SOUSA, M.R.; SOUZA, N.C.; SANTOS, A.B. Utilização de testes de ecotoxicidade na análise da eficiência de estações de tratamento de esgoto utilizando *Daphnia magna* como bioindicador. In: 26º Congresso Brasileiro de Eng. Sanitária e Ambiental. Anais. Porto Alegre, RS: ABES. 2011.
- ROMERO, F. M.; PROL-LEDESMA, R. M.; CANET, C.; ALVARES, L. N.; PÉREZ-VÁZQUEZ, R.. Acid drainage at the inactive Santa Lucia mine, western Cuba: natural attenuation of arsenic, barium and lead, and geochemical behavior of rare earth elements. *Applied Geochemistry*, v.25, n.5, p.716-727, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2010.02.004>
- RAMSTEDT, M.; CARLSSON, E.; LÖVGREN, L. Aqueous geochemistry in the Udden pit lake, northern Sweden. *Applied Geochemistry*, 18: 97-108. 2003.
- SÄMY, C.H.; TORRENS, B.M.O.; MEDEIROS, S.H.W. Estudo do impacto ambiental na bacia do rio do Braço através de análises ecotoxicológicas. *Revista de Ciências Ambientais*, 4: 45-55. 2010.
- SISINNO, C.L.S.; OLIVEIRA-FILHO, E.C. Princípios de toxicologia ambiental. Rio de Janeiro, RJ: Interciência. 2013.
- SCHULTZE, M.; POKRANDT, K. H.; HILLE, W. Pit lakes of the central German lignite mining district: creation, morphometry and water quality aspects. *Limnologica*, v. 40, p. 148-155, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2009.11.006>. 2010.
- VALE, M.S.; ABREU, K.V; GOUVEIA, S.T.; LEITÃO, R.C. SANTAELLA, S.T. Efeito da toxicidade de Cr (VI) e Zn (II) no crescimento do fungo filamentoso *Aspergillus niger* isolado de efluente industrial. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 3: 237-244. 2011.

ALTERAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DE SOLOS APÓS A APLICAÇÃO DE PESTICIDAS: PROBLEMAS E SOLUÇÕES

CHANGE IN THE COMPOSITION OF SOILS AFTER THE APPLICATION OF PESTICIDES: PROBLEMS AND SOLUTIONS

DOI: 10.51859/AMPLA.PCE2111-7

Salatiel H. Pereira de Lima¹
Bruno C. Duclerc Verçosa²
Galba M. de Campos-Takaki³

^{1,2} Mestrandos do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de Processos Ambientais-UNICAP

³ Professora Titular, Escola ICAM-Tech. Universidade Católica de Pernambuco– UNICAP

RESUMO

O solo é parte integrante do ecossistema terrestre, sua poluição pode ser definida como a alteração indesejável das propriedades físicas, químicas e biológicas. É importante expressar a complexidade nociva da poluição do solo. Diferentemente da poluição do ar e da água, nos solos há uma grande restrição à dispersão de contaminantes, seja por retenção física relacionada à permeabilidade, hidrogeologia ou por questões químicas e biológicas decorrentes da composição única de cada solo. Uma das principais causas da alteração das propriedades do solo se deve ao uso excessivo de agrotóxicos e agroquímicos. O mecanismo de contaminação ocorre através da percolação de compostos químicos que são adicionados indiscriminadamente nas camadas superiores do solo. Uma abordagem está sendo apresentada sobre as alterações física, química e biológica na composição dos solos por pesticidas, visando contribuir para soluções sustentáveis para aumento da produtividade, diminuição dos custos e maximização dos lucros na agricultura.

Palavras-chave: Agroquímicos. Pesticidas. Contaminação. Pesticidas. Solos.

ABSTRACT

Soil is an integral part of the terrestrial ecosystem, its pollution can be defined as the unwanted alteration of its physical, chemical, and biological properties. It is important to express the harmful complexity of soil pollution. Differently from air and water pollution, in soils there is a great restriction to the dispersion of contaminants, either by physical retention related to permeability, hydrogeology or by chemical and biological issues resulting from the unique composition of each soil. One of the main causes of soil properties change is due to the excessive use of pesticides and agrochemicals. The contamination mechanism occurs through the percolation of chemical compounds that are indiscriminately added to the upper layers of the soil. An approach is being presented on the physical, chemical, and biological alterations in the composition of soils by pesticides, aiming to contribute to sustainable solutions for increasing productivity, reducing costs, and maximizing profits in agriculture.

Keywords: Agrochemicals. Pesticides. Contamination. Pesticides. Soils.

1. INTRODUÇÃO

Os solos são corpos naturais, composto por elementos orgânicos e minerais, formados a partir da degradação das rochas, são constituídos por fragmentos sólidos, líquidos, gasosos, tridimensionais e dinâmicos. Trata-se de uma camada que cobre a superfície terrestre e representar a maior parte do manto superficial do planeta (SOLOS, 2013).

Os solos são classificados por diversas formas quanto a origem, textura e influência externa e elementos. Contém matéria viva e pode ser cultivado, ocorrendo assim interferências antrópicas, muitas vezes essas ações podem ocasionar degradação ao solo. Os maiores fatores antrópicos atuais são as queimadas, uso excessivo de solo agrícola devido ao plantio de monocultura, adubações e uso indiscriminado de agroquímicos, também chamados de agrotóxicos (LADEIRA, 2012).

Dentre esses fatores destacam-se o uso indiscriminado de agrotóxicos, devido à elevada demanda na agricultura, sendo empregados com o propósito de eliminar pragas, e ou até mesmo reduzir riscos e danos à plantação, visando garantir o aumento da produtividade. Entretanto, a aplicação desses produtos pode provocar inúmeros danos ao meio ambiente e a saúde humana (RANGEL, ROSA e SARCINELLI, 2011). Os agrotóxicos são substâncias químicas destinadas ao controle, destruição ou prevenção, direta ou indiretamente, de agentes patogênicos para plantas e animais úteis e às pessoas. incentivos à adoção de práticas agroecológicas. Contudo, a intensificação da agricultura tem prejudicado a biodiversidade, com redução na disponibilidade e qualidade da água, além da falta de comprometimento com a qualidade do ar e dos alimentos, bem como os crescentes problemas fitossanitários resultantes do desequilíbrio ecológico mediado pelo uso de agrotóxicos (MOREIRA et al. 2002; NEGRI et al., 2015).

E ainda, Organização Internacional do Trabalho (OIT) confirma que os agrotóxicos podem causar 70 mil intoxicações agudas e crônicas por ano, podendo evoluir para o óbito, em países em desenvolvimento. Cerca de mais de sete milhões de casos de doenças agudas e crônicas também são registradas. O Brasil vem sendo destaque devido ao maior consumo destes produtos desde 2008, em face do

desenvolvimento do agronegócio no setor econômico, onde sérios problemas quanto ao uso de agrotóxicos no país são evidenciados (CARNEIRO et al., 2015).

Neste contexto, torna-se fundamental apresentar os agrotóxicos que são produtos químicos sintéticos com ampla aplicabilidade, desde o uso para matar insetos, larvas, fungos, carrapatos para controlar as doenças provocadas por esses vetores, bem como, regular o crescimento da vegetação, com uso indiscriminado tanto no ambiente rural como urbano (BRASIL, 2002; INCA, 2021).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os agrotóxicos também conhecidos como pesticidas, são definidos pelo Ministério do Meio Ambiente como agentes de processos químicos, físicos e biológicos utilizados com o objetivo de enriquecer os solos que precisam suportar as produções agrícolas e as demandas modernas de monoculturas (LOPES e ALBUQUERQUE, 2018).

Com o crescimento populacional existe um aumento na procura de alimentos, rações e insumos agrícolas, e como resposta, o agronegócio pratica cada vez mais a monocultura associada ao uso de agrotóxicos como forma de aumentar a produtividade. Os agroquímicos são utilizados para a correção química (pH do solo) e aumento de nutrientes no solo (fertilizantes e corretivos), bem como, a proteção das lavouras do controle de pragas e doenças (VALADARES, ALVES e GALIZA, 2020).

As aplicações desses produtos têm ocasionado degradação excessiva no solo, pois muitas substâncias ficam retidas nos solos, deixando o solo frágil e reduzindo sua fertilidade, tornando improdutivo ao longo do tempo, aumentando o custo da manutenção, limitando assim o uso dos recursos e potencial para a produtividade agrícola (RIBEIRO, 2021).

Os pesticidas contaminam a superfície com metais pesados, como chumbo e comprometem a qualidade do ecossistema, tendo como consequência para a saúde humana. Os Pesticidas são classificados de acordo com a Tabela 1, seguindo os critérios de natureza química e a praga que será combatida e modo de ação (SILVA et al., 2019).

Tabela 1. Classificação química dos pesticidas

| CLASSIFICAÇÃO | COMBATE |
|---------------|--------------------|
| Inseticidas | Insetos |
| Fungicidas | Fungos |
| Herbicidas | Ervas Daninhas |
| Desfoliantes | Folhas Indesejadas |
| Fumigantes | Bactérias No Solo |

Fonte: Segundo AMARO, (2006).

Os pesticidas correspondem a grupos químicos como: organoclorados, organofosforado, carbamatos e piretróides, com diferentes mecanismos de ação e propriedades. Os organoclorados e organofosforados atuam por superfície de contato, ingestão e fumigação, apresenta como características como molécula estável, tóxica, lipossolúvel, acumula-se na cadeia alimentar e são muito persistente no ambiente (MELO, DE OLIVEIRA e LAGO, 2002).

Apesar dos compostos organofosforados serem bastante tóxicos para o homem, com relação a sua aplicação no solo, seus compostos degradam-se mais rápido e não são bioacumulados. Os carbamatos são semelhantes aos fosforados quanto à sua degradação no meio ambiente, o mecanismo de ação do pesticida é também por contato e ou ingestão. Em 1985 a utilização de organoclorados tiveram uso restrito no Brasil, pela Portaria de nº 329 do Ministério da Agricultura (MELO, DE OLIVEIRA e LAGO, 2002).

Por conta dos danos que esses produtos acarretam, buscam-se soluções para minimizar os efeitos indesejáveis, através da substituição de certos pesticidas por outros com menor capacidade de contaminação. A aplicação nas culturas atinge o solo diretamente através de pulverizações e fumigações, bem como indiretamente, ocorrendo queda de folhas e frutos. Além disso, essas substâncias podem ser lixiviadas contaminando ambientes aquáticos. Os resíduos de pesticidas têm sido encontrados bioacumulados no ambiente (CALDAS, 2018).

A estrutura química da molécula, propriedades físico-químicas do solo, o conteúdo de matéria orgânica, teor de argila e pH são fatores importantes que influenciam na dissipação, a microbiota e por isso muitos pesticidas é atribuída ação específica em micro-organismos (DOS SANTOS RODRIGUES et al., 2020).

Os pesticidas podem ter efeitos diretos nos micro-organismos do solo nos quais podem não somente provocar a morte como alterar as taxas de crescimento e processos metabólicos, como mudanças na reprodução e no comportamento das espécies. Os micro-organismos do solo e suas enzimas são importantes no processo de degradação da matéria orgânica, de origem vegetal e animal, e na liberação de nutrientes e traços de elementos de origem mineral necessários para o desenvolvimento das plantas. Por isso, a manutenção da atividade biológica do solo é extremamente importante (FRANCISCON et al., 2018).

A persistência de um produto químico no solo é parâmetro importante na avaliação da qualidade ambiental. Os pesticidas persistentes são aqueles que se encontram adsorvidos na matéria orgânica do solo, e dependendo de sua solubilidade em água, podem permanecer por longos períodos no solo, ou não são metabolizados por micro-organismo (FRANCISCON et al., 2018).

Devidos ao alto grau de toxicidade desses produtos a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), classifica esses produtos, seguindo critérios de elevada toxicidade levando a letalidade indicados pela cor, de acordo com a Tabela 2 (SILVA et al., 2013).

Tabela 2. Classificação toxicológica dos pesticidas de acordo com as cores

| CLASSES | CORES |
|---------------------------------|----------|
| Extremamente tóxicos | Vermelha |
| Altamente tóxicos | Vermelha |
| Moderadamente tóxico | Amarela |
| Pouco tóxico | Azul |
| Improvável de causar dano agudo | Azul |
| Não classificado | Verde |

Fonte: (SILVA et al., 2013).

Após o uso de um determinado agroquímico, a composição da matriz do solo alteram vários processos físicos, químicos e biológicos. A decomposição dos agrotóxicos no ambiente é determinada por processos de retenção (sorção), transformação (degradação biológica e decomposição química) e de transporte (volatilização, lixiviação e carreamento superficial) e por interações desses processos (RIBAS e MATSUMURA, 2009).

Problemas por contaminação podem acontecer em pequenas ou grandes concentrações, sendo fundamental o pleno conhecimento das características químicas desses agroquímicos durante seu manejo e utilização (ANDREA, 1998).

A preocupação com a preservação do ambiente e com a qualidade do solo tem gerado busca constantes pela solução desse problema, a fitorremediação e vermirremediação são tecnologias inovadoras com potencial para remediação de solos contaminados com agroquímicos. Esses processos geralmente ocorrem no solo onde os pesticidas são totalmente degradados ou transformados em compostos menos tóxicos pela ação de fungos, bactérias e/ou outros microrganismos (PIRES et al., 2003; VASCONCELLOS, PAGLIUSO e SOTOMAIOR, 2012).

Assim, a eficiência em processos de biorremediação depende de diversos fatores físicos e químicos do solo, do potencial hidrogeniônico (pH), temperatura, aeração, biodisponibilidade do composto, umidade, condições redox, matéria orgânica, nutrientes, natureza e teor de argila, óxidos metálicos, e capacidade de troca catiônica (LEONEL et al., 2018)

A biodegradação de pesticidas ou de qualquer outro composto depende do potencial enzimático dos micro-organismos. Segundo Massoud et al. (2010), o pH ótimo das bactérias fica em torno de 6,5 e 7,5, sendo este o valor mais indicado para biorremediação. Contudo, a bactéria *Pandoraea* sp, por exemplo, foi isolada a partir de uma cultura de enriquecimento e conseguiu degradar isômeros de HCH em intervalo de pH 4 a 9 (GODOI, FAVORETO e SANTIAGO-SILVA, 2003).

O teor de matéria orgânica (MO) no solo também afeta a biodegradação de pesticidas ao proporcionar nutrientes suficientes para o crescimento microbiano e controlar o pesticida por processos de adsorção/dessorção de acordo com os distintos grupos de pesticida no processo de biodegradação (RIBEIRO, 2021).

Os estudos de Johannesen et al. (2003) demonstraram degradação do fungicida difenoconazol em solo argiloso de fácil decomposição e aumentou significativamente a atividade microbiana em condições controladas de temperatura (30°C) e umidade (60 %) (LEONEL et al., 2018).

Assim, é importante a elaboração de estudos sobre as vantagens e desvantagens do uso dos agroquímicos, bem como ampliar o conhecimento sobre os riscos,

promovendo o uso racional e consciente, e um controle mais eficaz na comercialização de tais produtos (SOARES et al., 2011).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

o agronegócio é a maior fonte de geração de riquezas para o nosso país, o que impulsiona o uso de agrotóxicos e agroquímicos como agentes catalizadores da produtividade. A degradação das propriedades físico-químicas e biológicas do solo põe em risco a sustentabilidade do meio ambiente, além de reduzir o interesse de mercados mais exigentes pelos produtos agrícolas brasileiros. A aplicação da agricultura sustentável deve ser promovida, incentivada e pesquisada para que exista um equilíbrio entre as culturas cultivadas e o maior potencial econômico e o meio ambiente.

O agronegócio é a maior fonte de geração de riquezas para o nosso país, o que impulsiona também o uso de agrotóxicos e agroquímicos como agentes catalizadores da produtividade. Medidas preventivas e tecnologias inovadoras devem ser empregadas para minimizar o uso de pesticidas na agricultura. Em curto prazo, além do custo ambiental elevado, priorizando a ação tóxica para o ser humano. Mitigar esses impactos, é uma necessidade, além de mais incentivos na adoção de práticas agroecológicas, capacitação daqueles que manipulam os agrotóxicos, bem como a proibição de pesticidas nocivos ao ambiente e à saúde humana.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio da FACEPE (S.H.P.L. Processo No. IBPG-1583-3.00/21), BOLSA CAPES (B.C.S..V.) E CNPq (G.M.C.T. Processo No. 314422/2018-8).

REFERÊNCIAS

- AMARO, Pedro. A nova classificação toxicológica e as frases de risco dos pesticidas. AS CARACTERÍSTICAS TOXICOLÓGICAS DOS PESTICIDAS, 2006.
- ANDREA, MM de. Contaminação do solo por pesticidas. Biológico, 1998.
- BRASIL. Decreto nº 4.074, de 4 de janeiro de 2002. Regulamenta a Lei no 7.802, de 11 de julho de 1989, que dispõe sobre a pesquisa, a experimentação, a produção, a embalagem e rotulagem, o transporte, o armazenamento, [...] e a fiscalização de

agrotóxicos, seus componentes e afins, e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, ano 139, n. 5, p. 1-12, 8 jan. 2002.

CALDAS, Eloisa Dutra. Monitoramento de resíduos de agrotóxicos. *AgroANALYSIS*, v. 38, n. 12, p. 45-45, 2018.

CARNEIRO, F. F. et al. Segurança Alimentar e nutricional e saúde. Parte 1. In CARNEIRO, Fernando Ferreira et al. (org.) Dossiê ABRASCO: um alerta sobre os impactos dos agrotóxicos na saúde. Rio de Janeiro: EPSJV São Paulo: Expressão Popular, 2015. 624 p. : il. 628 p.

DOS SANTOS RODRIGUES, Maiara et al. EFEITO DE AGROTÓXICOS SOBRE A MICROBIOTA DO SOLO. *Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente*, v. 1, n. 2, p. 38-38, 2020.

FRANCISCON, Emanuele Giuliani et al. Carbono da biomassa e atividade bioquímica em solos de Cerrado submetidos à aplicação do nematicida Cadusafós. 2018.

GODOI, Ana Flavia Locateli; FAVORETO, Rodrigo; SANTIAGO-SILVA, Mary. Contaminação ambiental por compostos organoestênicos. *Química nova*, v. 26, n. 5, p. 708-716, 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER JOSÉ ALENCAR GOMES DA SILVA. Ambiente, trabalho e câncer: aspectos epidemiológicos, toxicológicos e regulatórios. Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. – Rio de Janeiro: INCA, 2021.

LADEIRA, Francisco Sergio Bernardes. A ação antrópica sobre os solos nos diferentes biomas brasileiros—terras indígenas e solos urbanos. *ENTRE-LUGAR*, v. 3, n. 6, p. 127-139, 2012.

LEONEL, Lillian Vieira et al. Biorremediação do solo. *Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa*, v. 26, n. 51, p. 37-52, 2018.

LOPES, Carla Vanessa Alves; ALBUQUERQUE, Guilherme Souza Cavalcanti de. Agrotóxicos e seus impactos na saúde humana e ambiental: uma revisão sistemática. *Saúde em debate*, v. 42, p. 518-534, 2018.

MELO, Marília Martins; DE OLIVEIRA, Neide Judith Faria; LAGO, Luiz Alberto. Intoxicações causadas por pesticidas em cães e gatos. Parte I: Organoclorados, organofosforados, carbamatos e piretróides. *Revista de Educação Continuada em Medicina Veterinária e Zootecnia do CRMV-SP*, v. 5, n. 2, p. 188-195, 2002.

MOREIRA, J. C.; JACOB, S. C.; PERES, F.; LIMA, J. S.; MEYER, A.; OLIVEIRA-SILVA, J. J.; SARCINELLI, P. N.; BATISTA, D. F.; EGLER, M.; FARIA, M. V. C.; ARAÚJO, A. J. de; KUBOTA, A. H.; SOARES, M. de O.; ALVES, S. R.; MOURA, C. M.; CURI, R. Avaliação integrada do impacto do uso de agrotóxicos sobre a saúde humana em uma

comunidade agrícola de Nova Friburgo, RJ. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 7, n. 2, p. 299-311, 2002.

NEGRI, A. P.; FLORES, F.; MERCURIO, P.; MUELLER, J. F.; COLLIER, C. J. Lethal and sub-lethal chronic effects of the herbicide diuron on seagrass. *Aquatic Toxicology*, v. 165, p.73-83, Aug. 2015.

PIRES, Fábio Ribeiro et al. Fitorremediação de solos contaminados com herbicidas. *Planta daninha*, v. 21, p. 335-341, 2003.

RANGEL, Cássia de Fátima; ROSA, Ana Cristina Simões; SARCINELLI, Paula de Novaes. Uso de agrotóxicos e suas implicações na exposição ocupacional e contaminação ambiental. *Cad. saúde colet.*, (Rio J.), 2011.

RIBAS, Priscila Pauly; MATSUMURA, Aida Terezinha Santos. A química dos agrotóxicos: impacto sobre a saúde e meio ambiente. *Revista Liberato*, v. 10, n. 14, p. 149-158, 2009.

RIBEIRO, Joseph Simões. Cenário de uso, consumo e classificação de risco dos agrotóxicos na nova fronteira agrícola do Oeste do Pará. 2021.

SILVA, Eveline Fronza da et al. Prevalência de morbidades e sintomas em idosos: um estudo comparativo entre zonas rural e urbana. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 18, n. 4, p. 1029-1040, 2013.

SILVA, Samuel Neves de Melo et al. Síntese, caracterização e utilização de nanotubos de titânio na fotodegradação de pesticidas. 2019.

SOARES, Marcus Alvarenga et al. Controle biológico de pragas em armazenamento: uma alternativa para reduzir o uso de agrotóxicos no Brasil?. *Unimontes Científica*, v. 11, n. 1/2, p. 52-59, 2011.

SOLOS, Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro, 2013.

VALADARES, Alexandre Arbex; ALVES, Fábio; GALIZA, Marcelo. O Crescimento do uso de agrotóxicos: uma análise descritiva dos resultados de Censo Agropecuário 2017. 2020.

VASCONCELLOS, Maria Cristina; PAGLIUSO, Débora; SOTOMAIOR, Vanessa Santos. Fitorremediação: Uma proposta de descontaminação do solo. *Estudos de Biologia*, v. 34, n. 83, 2012.

APLICAÇÕES DA ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO PARA CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAIS POLIMÉRICOS: UMA REVISÃO

APPLICATIONS OF INFRARED SPECTROSCOPY FOR CHARACTERIZATION OF POLYMERIC MATERIALS: A REVIEW

DOI: 10.51859/AMPLLA.PCE2111-8

Michelle Félix de Andrade ¹

Ivo Diego de Lima Silva ²

Viviane Fonseca Caetano ³

José Augusto de Almeida Nascimento ⁴

Glória Maria Vinhas ⁵

Yeda Medeiros Bastos de Almeida ⁶

¹ Doutora em Ciências de Materiais. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

² Doutor em Ciência de Materiais. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

³ Doutora em Engenharia Química. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

⁴ Mestre em Ciência dos Materiais. Universidade Federal do Vale do São Francisco -

⁵ Professor Associada do Departamento Engenharia Química. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

⁶ Professor Titular do Departamento Engenharia Química. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

RESUMO

As técnicas espectroscópicas no infravermelho (IV) é ferramenta importante para a análise de materiais poliméricos, pois, a partir dela, consegue-se obter informações sobre as estruturas químicas dessas macromoléculas, identificar aditivos, novos grupos químicos, degradação, entre outras. O espectro IV está situado na faixa de 400 a 4000 cm^{-1} , é denominado de infravermelho médio e é a região de maior interesse do espectro. Nessa faixa estão localizadas as frequências vibracionais fundamentais. A técnica de IV se baseia na absorção de energia das moléculas em comprimentos de onda característico, a partir dessa vibrações característica, em materiais poliméricos, consegue-se identificar a estrutura química, presença de impureza e aditivos, processos degradativos, entre outras características. Desse modo, este trabalho apresenta como objetivo a realização de uma revisão bibliográfica sobre as técnicas espectroscópicas no infravermelho e ressonância magnética nuclear, além de analisar o uso das técnicas para aplicações em materiais poliméricos.

Palavras-chave: FTIR. RMN. Polímeros. Estrutura química.

ABSTRACT

Infrared (IR) and nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopic techniques are important tools for the analysis of polymeric materials, as they provide information on the chemical structures of these macromolecules, identify additives, new chemical groups, degradation, among others. The IR spectrum is located in the range from 400 to 4000 cm^{-1} , is called mid-infrared and is the region of greatest interest in

the spectrum. In this range are located the fundamental vibrational frequencies. The biggest application of IV is in the identification of organic compounds. In the NMR technique, a magnetic field is applied to a sample where it will be measured, so the energy released by the nucleus of an atom that will allow the identification of the structure of a compound can also provide information about the conformation of the molecules, properties structural and dynamics of molecules in relation to their chemical changes, relaxation parameters and purity determination, among others. Thus, this work aims to carry out a literature review on spectroscopic techniques in infrared and nuclear magnetic resonance, in addition to analyzing the use of the techniques for applications in polymeric materials.

Keywords: FTIR. NMR. Polymers. Chemical structure.

1. INTRODUÇÃO

As técnicas espectroscópicas são ferramentas sensíveis e úteis para a identificação e caracterização de materiais. Com elas podemos analisar substâncias presentes em amostras desconhecidas, determinar concentrações, compreender as propriedades microscópicas através de informações sobre os tipos de ligações entre os átomos e os átomos presentes (LEITE; PRADO, 2012). A espectroscopia no infravermelho é um exemplo de técnica espectroscópica aplicada nas mais diversas áreas, e ferramenta importante para o estudo dos materiais poliméricos.

A espectroscopia no infravermelho (IV) é uma das técnicas espectroscópicas mais amplamente utilizada e das mais importantes. Isso ocorre porque o IV diferencia o comprimento de onda característico de cada molécula, conferindo uma espécie de impressão digital, onde, apenas determinada molécula apresentará vibração naquela região do espectro (PAVIA et al., 2015). Com isso, a espectroscopia de infravermelho é ferramenta fundamental para a análise e identificação de compostos químicos.

A aplicação da técnica de FTIR pode ser considerada um dos métodos de análise mais importantes aplicadas à polímeros. Isso ocorre, pois a sua ampla gama de possibilidades de aplicações fornece análises confiáveis tanto para polímeros no estado sólido, na forma de gel ou mesmo em solução.

A aplicação das técnicas espectroscópicas no estudo de materiais poliméricos pode ser utilizada para: análise de reprocessamento (OLIVEIRA et al., 2017), incorporação de aditivos na matriz polimérica (MULLA et al., 2017), interações entre polímero e surfactantes (SENRA; KHOUKH; DESBRIÈRES, 2017), aditivos antimicrobianos (ANDRADE et al., 2020), entre outras diversas aplicações.

Sendo assim, este trabalho tem como objetivo revisar a técnica espectroscópica de infravermelho e exemplificar o uso da técnica como ferramenta para estudo de materiais poliméricos em diversas aplicações.

2. ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO

2.1. FUNDAMENTOS DA ESPECTROSCOPIA DE INFRAVERMELHO

A região do infravermelho (IV) foi descoberta em 1800 pelo astrônomo Frederick William Herschel, onde, em um experimento para separar as faixas espectrais relacionadas à região do visível, utilizou um prisma de vidro com termômetros pintados de preto, constatou, assim, radiação térmica abaixo da região do visível. No entanto, os primeiros espectros de IV foram obtidos por Abney e Festing apenas quase um século depois, aplicando essa radiação infravermelha para irradiar moléculas orgânicas (ILHARCO, 1998; BURNS; CIURCZAK, 2001).

A radiação no infravermelho encontra-se na faixa de comprimentos de onda entre 12.800 a 10 cm^{-1} , que é a região correspondente do espectro situada entre a região do visível e a região de micro-ondas (HOLLER; SKOOG; CROUCH, 2009).

O espectro na região do infravermelho divide-se em três regiões, denominados: infravermelho próximo (NIR), infravermelho médio (MIR) e o infravermelho distante (FIR). Os valores correspondentes para cada região podem ser observados na Tabela 1 (HOLLER; SKOOG; CROUCH, 2009).

Tabela 1 – Limite espectral correspondente para cada região no infravermelho

| REGIÃO | NÚMERO DE ONDA (cm^{-1}) | COMPRIMENTO DE ONDA (nm) |
|--------|--|-----------------------------|
| NIR | 12.800 – 4000 | 780 – 2500 |
| MIR | 4000 – 400 | 2500 – 5000 |
| FIR | 200 - 10 | 5000 – 100.000 |

Fonte: (HOLLER; SKOOG; CROUCH, 2009).

A espectroscopia de infravermelho próximo (NIR) utiliza a energia dos fótons ($2,65 \times 10^{-19}$ a $7,96 \times 10^{-20}$ J) com o comprimento de onda na faixa de 750 a 2.500 nm, para que apenas moléculas em estados vibracionais baixos sejam excitadas. A utilização do NIR tem como vantagens: rapidez nos resultados, técnica não-destrutiva e não-invasiva, alta penetração da radiação pelo feixe da sonda, pode ser aplicada para todas

as moléculas contendo C-H, NH, S-H ou O-H e fácil preparação das amostras (PASQUINI, 2003).

A região na faixa de 400 a 4000 cm^{-1} , referente à região do infravermelho médio, estão localizadas as frequências vibracionais fundamentais, que está relacionado com as transições vibracionais entre o nível de energia vibracional fundamental ($v = 0$) e o primeiro nível vibracional excitado ($v = 1$). A região de 400 a 1800 cm^{-1} é denominada região de impressão digital do espectro IR, tendo em vista que as frequências vibracionais fundamentais surgem em grande parte nessa região (CANEVAROLO JR., 2003).

Na região do infravermelho distante podem ser estudados os espectros de rotação de moléculas e espectros vibracionais de sólidos, líquidos e gases (KOMIYAMA et al., 2000).

Os espectros do infravermelho podem ser obtidos a partir da incidência de um feixe de luz na região do infravermelho sobre uma amostra, produzindo espectros de absorção e/ou transmissão, medindo, desse modo, quanto de cada comprimento de onda (ou frequência) da radiação eletromagnética que foi incidida sobre a amostra será absorvida ou transmitida (LEITE; PRADO, 2012).

Para que ocorra absorção ou transmissão, conforme descrito pela mecânica quântica, uma molécula pode absorver energia e atingir o primeiro estado vibracional excitado.

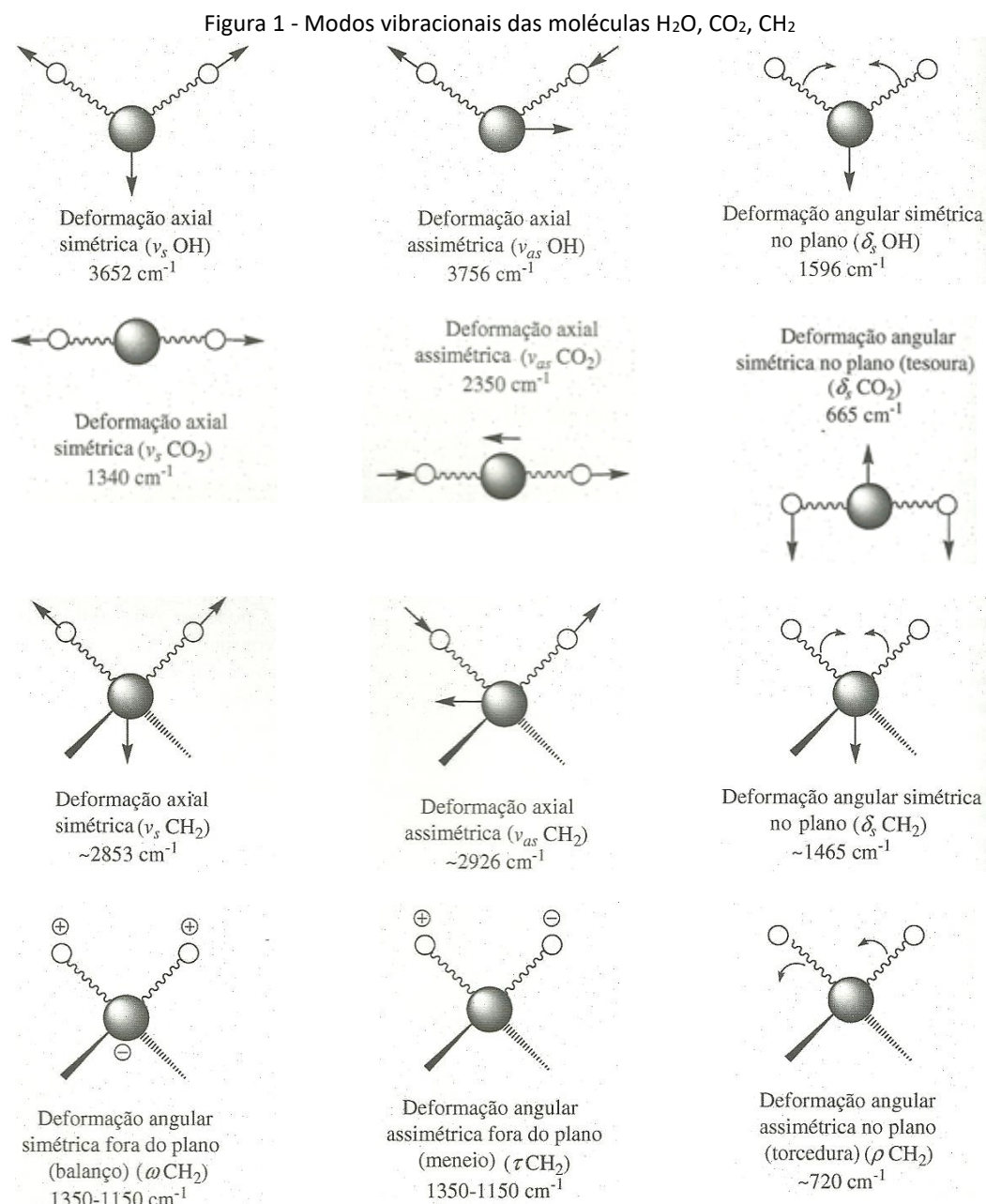
Os modos vibracionais de uma molécula podem ser classificados em deformações axiais (estiramento) e deformações angulares (dobramento), conforme Figura 1.

Para a deformação axial, ocorre um movimento rítmico que aumenta e diminui a distância interatômica ao longo do eixo da ligação. Na deformação angular, ocorrem variações nos ângulos de ligação em relação a um conjunto de moléculas. Não existir variações ritmadas das ligações que possuem um átomo em comum ou grupos de átomos em relação a outras moléculas sem alteração das posições relativas dos átomos dos grupos (SILVERSTEIN; WEBSTER; KIEMLE, 2013).

Além disso, os modos vibracionais podem ocorrer de forma simétrica e assimétrica. Na forma simétrica ocorre um movimento de contração e alongamento. Não ocorrem mudanças no momento dipolo (μ) da molécula, sendo, portanto, inativo



no infravermelho. Para o modo assimétrico, ocorre fora de fase, ou seja, uma ligação se estende e a outra se contrai. O momento dipolo (μ), se torna, então, ativo no infravermelho (SILVERSTEIN; WEBSTER; KIEMLE, 2013).



Fonte: (SILVERSTEIN; WEBSTER; KIEMLE, 2013).

Em um processo de absorção, as frequências de radiação infravermelha correspondentes às frequências de vibração natural da molécula são absorvidas e a sua energia irá aumentar a amplitude do movimento vibracional das ligações em uma molécula. Este fato ocorre porque nem todas as ligações em uma determinada molécula são capazes de absorver energia na região do infravermelho, mesmo que a frequência

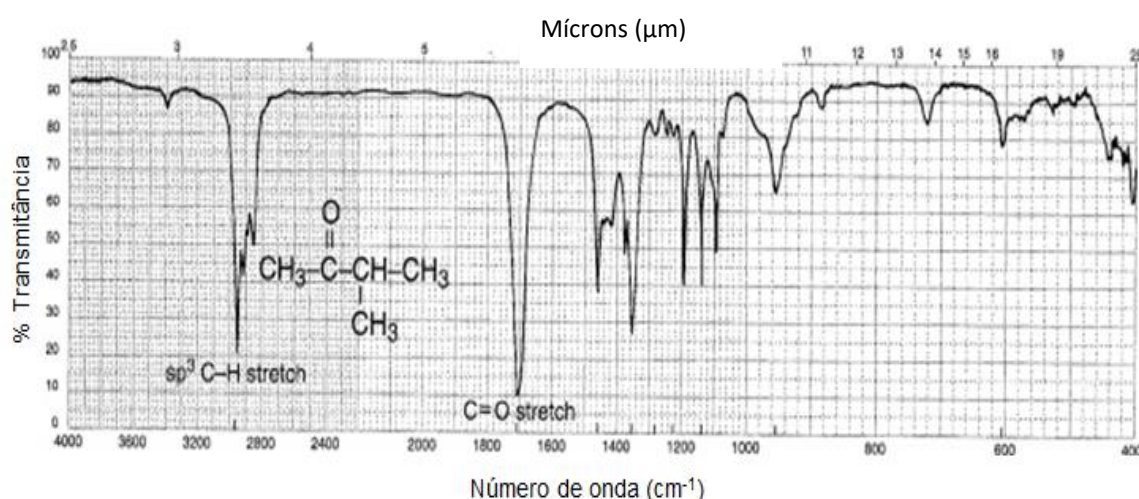
de radiação seja exatamente a mesma que movimentou a ligação. Apenas ligações com momento dipolo que podem mudar em função do tempo serão capazes de absorver radiação no infravermelho (PAVIA et al., 2015).

Quando uma molécula é irradiada ela consegue absorver um quanta de luz com essa energia. O que surge no espectro de radiação é devido aos movimentos vibratórios e rotacionais complexos das moléculas, e o que se vê no infravermelho será devido às vibrações que mudam o momento dipolar molecular. Outras formas de vibrações, provenientes de forças e ângulos de ligação de átomos em uma molécula, não são detectadas. Quanto mais complexas as moléculas, maiores as opções de vibrações internas. Em geral, a frequência de uma banda de absorção no espectro aumenta com a constante de força da ligação e diminui com a massa do átomo (SCHMITT; FLEMMING, 1998).

Um espectro de infravermelho de duas moléculas diferentes em uma estrutura nunca apresentará o mesmo padrão de absorção no infravermelho, mesmo que ambas possuam frequências de absorção idênticos. Por isso, diz que o espectro de infravermelho é correspondente a uma impressão digital da molécula (PAVIA et al., 2015).

O espectro de infravermelho no modo transmitância, pode ser observado na Figura 2.

Figura 2 - Espectro de infravermelho no modo transmitância do 3-metil-2-butanona



Fonte: (PAVIA et al., 2015)

As regiões no espectro que vão de 4000 a 1300 cm^{-1} e de 900 a 650 cm^{-1} , que é a região de mais alta frequência, denomina-se de região dos grupos funcionais. Na

região de 1300 a 900 cm^{-1} (região de impressão digital), ocorre a formação de bandas de vibração acopladas (SILVERSTEIN; WEBSTER; KIEMLE, 2013).

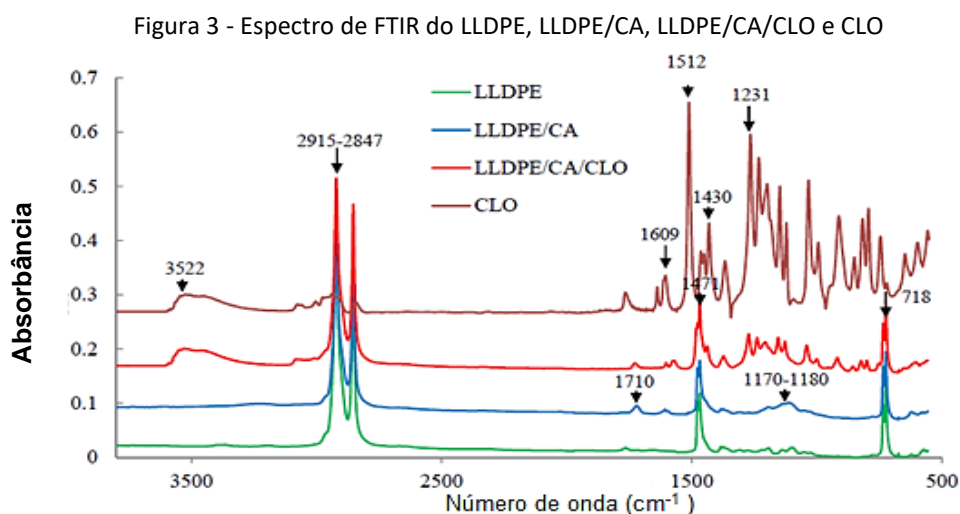
Em um espectro de infravermelho, obtêm-se informações sobre a estrutura de uma molécula a partir da absorção de cada tipo de ligação que só ocorre em determinado ponto do espectro (PAVIA et al., 2015)

Porém, compostos semelhantes podem originar espectros praticamente iguais. Logo, é preciso expandir a escala de intensidade ou utilizar amostras mais concentradas (SILVERSTEIN; WEBSTER; KIEMLE, 2013).

2.2. REVISÃO DA LITERATURA SOBRE A APLICAÇÃO DA TÉCNICA DE FTIR EM MATERIAIS POLIMÉRICOS

O uso da espectroscopia de infravermelho, aplicada para materiais poliméricos, vem como uma técnica auxiliar para identificação e/ou confirmação dos grupos funcionais presentes em determinada amostra. A seguir, serão apresentadas pesquisas que utilizaram esta técnica para obter informações sobre a estrutura química de suas amostras em diferentes aplicações.

Mulla e colaboradores (2017) estudaram o efeito da deposição do óleo de alho (CLO) na superfície de filmes poliméricos extrudados de polietileno linear de baixa densidade (LLDPE), a partir do tratamento térmico com ácido crômico (CA). O FTIR-ATR foi utilizado na faixa de 600 a 4000 cm^{-1} para observar a interferência do CA na estrutura do polímero, assim como, verificar a presença do óleo. Na Figura 3 está o espectro de FTIR obtido.



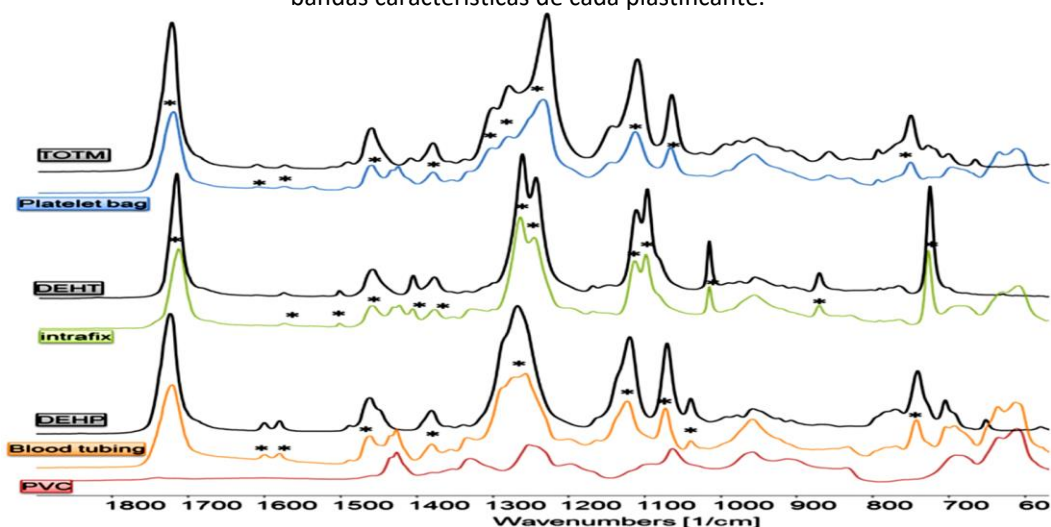
Fonte: (MULLA et al., 2017)

Em relação ao espectro do filme de LLPDE/CA/CLO foi observado a presença dos picos característicos do LLDPE puro e do eugenol (componente principal do CLO). O que indica que o óleo de alho penetrou na superfície do filme a partir do ácido crômico.

Oliveira e colaboradores (2017) avaliaram uma blenda polimérica formada por amido termoplástico, PP (polipropileno) e PBAT [poli (butileno adipato co-tereftalato)] produzidos em uma extrusora de parafuso único, quanto a sua degradação em sete ciclos de reprocessamento. O FTIR foi utilizado na faixa de 4000 a 400 cm^{-1} . Os autores observaram que o aumento no ciclo de reprocessamento não acarretou mudanças consideradas significativas na estrutura do PP. Observa-se esse comportamento no FTIR pela permanência da estrutura química do PP. Para o espectro da blenda foi observado o surgimento de bandas associadas à estrutura do PBAT e do amido termoplástico. Para os autores, o reprocessamento não causou mudanças estruturais na banda 1723 cm^{-1} , que é a região de absorção do grupo carbonila, indicando uma possível reação de oxidação sobre condições de processamento.

Al Salloum e colaboradores (2017) avaliaram produtos hospitalares (tubos, bolsas de sangue e plaquetas) feitos de PVC plastificado após estocagem em diferentes meios de armazenamento. Utilizaram a técnica de FTIR-ATR na faixa de 4000 a 550 cm^{-1} para identificar os aditivos presentes nos componentes hospitalares. Na Figura 4 estão apresentados os espectros de FTIR-ATR dos aditivos encontrados em tubos de infusão e dispositivos sanguíneos.

Figura 4 - Espectros de FTIR dos plastificantes encontrados (DEHT, DEHP e TOTM). A estrela indica as bandas características de cada plastificante.

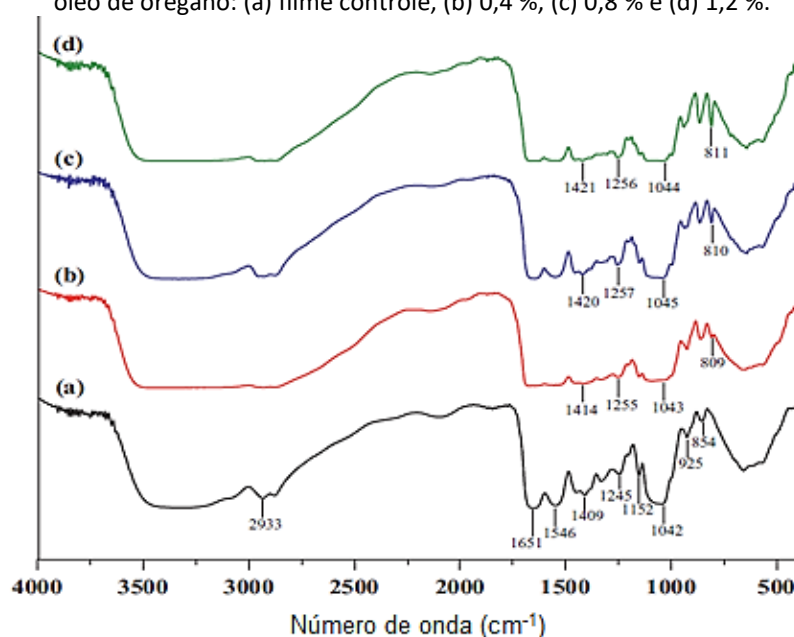


Fonte: (AL SALLOUM et al., 2017)

Os plastificantes presentes nos produtos hospitalares foram identificados a partir dos estiramentos das ligações do grupo carbonila e por faixas específicas de grupos presentes nos aditivos. Segundos os autores, na faixa específica entre 1680 a 1500 cm^{-1} , encontram-se bandas características de diversos aditivos, principalmente os aditivos com capacidade fluorescente e os que migram para a superfície do material.

Hosseini e colaboradores (2015) produziram filmes poliméricos de gelatina de peixe e quitosana aditivado com óleo de orégano. Para a análise de FTIR os espectros de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR), foi obtida na faixa de 4000 – 400 cm^{-1} , e avaliado a interação do óleo com a matriz polimérica. A Figura 5 exibe os espectros obtidos para o filme controle e os filmes com adição das diferentes concentrações de óleo.

Figura 5 - Espectro de FTIR dos filmes de gelatina de peixe-quitosana com diferentes concentrações de óleo de orégano: (a) filme controle, (b) 0,4 %, (c) 0,8 % e (d) 1,2 %.



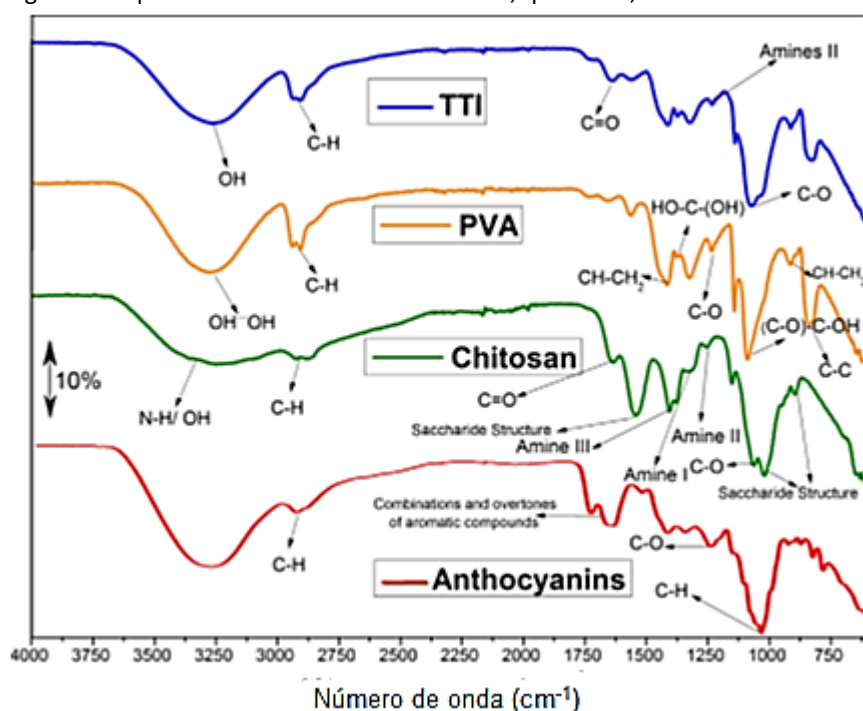
Fonte: HOSSEINI et al., (2015)

No espectro de FTIR, os filmes com as diferentes concentrações de óleo apresentaram os mesmos picos principais do filme controle, no entanto, houve diferenças em relação a intensidade dos picos para cada porcentagem utilizada. Ocorreu deslocamento de alguns picos para números de onda menores após a incorporação do óleo. Essa alteração, segundo os autores, está diretamente ligada a uma diminuição na ordem molecular devido às mudanças conformacionais. Duas bandas, 925 – 853 cm^{-1} , referente ao estiramento das ligações C, foram mais visíveis nos filmes aditivados com

óleo, o que indica a interação do óleo com a matriz polimérica. E por fim, foi observado à presença de um pico em 810 cm^{-1} que pode estar associado a grupos C-H presentes no carvacrol (componente principal do óleo de orégano), indicando que o óleo pode ter alterado o arranjo e a interação intermolecular da matriz polimérica.

Pereira Jr e colaboradores (2014) desenvolveram embalagens inteligentes utilizando quitosana/PVA e antocianina como indicador de tempo-temperatura (TTI). O sensor indica alterações na temperatura do alimento pela mudança de pH durante a exposição do produto em temperaturas diferentes da recomendada para o seu armazenamento. Os autores utilizaram FTIR-ATR na faixa entre 4000 a 600 cm^{-1} para observar os picos característicos presentes na quitosana, PVA, antocianina e no filme com TTI, conforme Figura 6.

Figura 6 - Espectro de FTIR-ATR da antocianina, quitosana, PVA e filme com TTI.



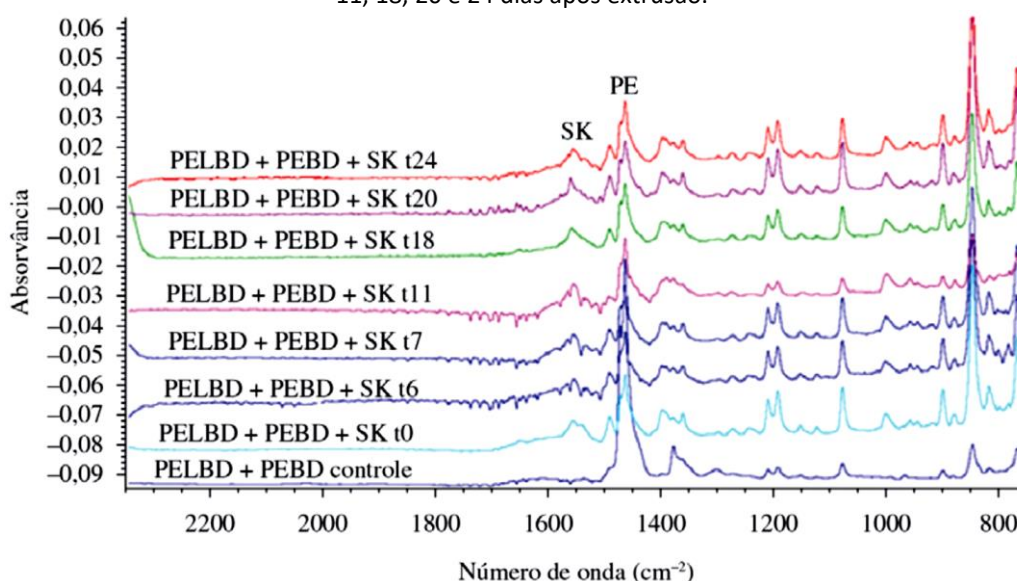
Fonte: (PEREIRA JR et al., 2014)

Para o filme TTI, em 2930 cm^{-1} encontra-se uma banda referente ao estiramento da ligação C-H; 1240 cm^{-1} , estiramento da banda C-N das aminas secundárias relacionada à quitosana; em 1642 cm^{-1} , estiramento da ligação C - N (amida I); em 1066 cm^{-1} , deformação do grupo hidroxil. Ocorreu um deslocamento destas bandas em relação ao PVA e quitosana pura, o que indica uma possível interação polimérica através das ligações de hidrogênio. De modo geral, os autores observaram que comparando os

espectros do filme TTI com PVA/quitosana sem adição da antocianina, encontram-se mudanças na região entre 1500 e 1600 cm^{-1} , indicando um aumento na intensidade das bandas entre essa região. Tornando claro, que a antocianina quando adicionada ao filme polimérico TTI, provoca mudanças na região de estiramento dos anéis aromáticos.

Pires e colaboradores (2014) preparam filmes por extrusão de PELBD e PEBD adicionando 5 % de sorbato de potássio (SK) como agente antimicrobiano. Acompanharam por FTIR, na faixa entre 5000 a 400 cm^{-1} , o perfil de migração do SK a partir do aumento da intensidade das bandas características do sorbato de potássio. A relação de áreas entre SK e polietileno foi realizada na região entre 1610 - 1520 cm^{-1} e 1484 - 1420 cm^{-1} . Com base no espectro padrão das matérias-primas, os autores puderam associar a migração do SK com os seus picos característicos em diferentes tempos de migração após o processamento. A Figura 7 indica o perfil de migração do SK obtido por FTIR-ATR em tempos diferentes (0, 6, 7, 11, 18, 20 e 24 dias) após o processamento.

Figura 7 - Perfil de migração do SK a partir dos espectros de FTIR/ATR do filme contendo SK após 0, 6, 7, 11, 18, 20 e 24 dias após extrusão.

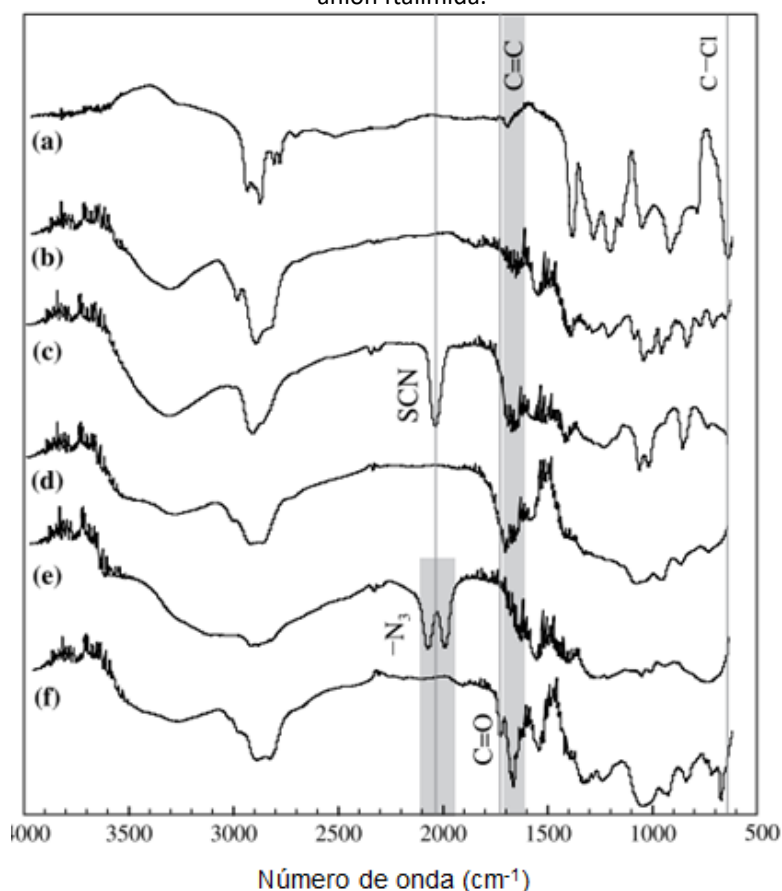


Fonte: PIRES e colaboradores (2014)

Comparando as bandas de absorção do SK e do polietileno, os autores indicaram um perfil de migração do SK para a superfície do filme dependente do tempo. Sendo o máximo da sua migração ocorrida após 15 dias de processamento. Após esse período houve, portanto, uma diminuição na migração do SK.

Kameda e colaboradores (2009) estudaram a substituição do Cl do PVC de uma solução nucleofílica (Nu) (I⁻, SCN⁻, OH⁻, N-3 e um ânion ftalimida) com etileno glicol (Eg) e N,N-dimetil formaldeído (DMF). O FTIR foi utilizado para verificar os produtos obtidos da reação do PVC em Nu/EG e Nu/Cl. Na Figura 8 estão apresentados os espectros de FTIR das amostras analisadas.

Figura 8 - Espectro de FTIR do (a) PVC, das soluções nucleofílicas com (b) I⁻, (c) SCN⁻, (d) OH⁻, (e) N-3 e (f) ânion ftalimida.



Número de onda (cm⁻¹)

Fonte: (KAMEDA et al., 2009)

Na Figura 8, espectro (a), para o PVC puro, em 650 cm⁻¹ encontra-se o pico relacionado à vibração de estiramento do C-Cl. Para a solução Nu/EG, houve uma redução na intensidade do pico, sugerindo a ocorrência da descloração do PVC. Em 1600-1730 cm⁻¹, vibração de alongamento do C=C, ocorreu aumento na intensidade do pico, devido, igualmente, a descloração do PVC. Na Figura 8 (b, c, e) a vibração de alongamento C=C para a solução com I⁻, SCN⁻ e N3, surgiram em números de ondas mais baixos, em relação ao PVC puro, indicando a presença de ligação dupla conjugada longa. Para a Figura (d) ocorreu o surgimento da vibração de alongamento em números de onda maiores, indicando a presença de ligação dupla conjugada menor. Essa mudança

no comprimento da dupla ligação favorece uma alteração na cor do produto. Alterando do branco ao amarelo (ânion ftalimida), laranja (OH), vermelho, marrom (SCN) e preto (I e N3).

Chatkitanan e Harnkarnsujarit (2020) preparam embalagens de amido e Polietileno linear de baixa densidade (PEBD) aditivados com nitrato de sódio para melhorar a cor e a qualidade de embalagens para carne de porco a vácuo. Utilizaram o FTIR para avaliar a interação entre o nitrato de sódio e o amido+ PED na faixa de varredura de 500 a 4000 cm^{-1} . Os autores observaram que apesar da incompatibilidade entre o amido e o PEBD, não alterações nas vibrações moleculares do amido. A presença do nitrato de sódio provocou uma alteração na região de absorção das ligações de H (3000–3700 cm^{-1}). Por fim, foi verificado que os espectros de FTIR do PEBD não mostraram alterações nas bandas de adsorção, sugerindo que a interação entre nitrato de sódio e amido modificou principalmente as matrizes amido, mas com efeito químico não detectado nas redes do PEBD.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos estudos expostos obtidos por diversos autores, é possível concluir que a técnica espectroscópica no infravermelho pode ser aplicada em diversas análises envolvendo tanto materiais poliméricos puros, quanto na forma de blends ou compósito. Podem ser obtidos resultados confiáveis sobre a regularidade estrutural, quantificação de fases, observação do grau de ramificações, transformações químicas, como por exemplo a biodegradação. O avanço nos equipamentos para aplicação do IV tem proporcionado inúmeros avanços na área de caracterização de materiais, sendo, portanto, consideradas técnicas fundamentais para aplicação no estudo de materiais poliméricos.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco.

REFERÊNCIAS

- AL SALLOUM, H. et al. Characterization of the surface physico-chemistry of plasticized PVC used in blood bag and infusion tubing. **Materials Science and Engineering C**, v. 75, p. 317–334, 2017.
- ANDRADE, M. F. et al. A study of poly (butylene adipate-co-terephthalate)/orange essential oil films for application in active antimicrobial packaging. **LWT - Food Science and Technology**, v. 125, p. 109–148, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109148>>.
- BURNS, D. A.; CIURCZAK, E. W. **Handbook of Near-Infrared Analysis**. 2. ed. New York: Marcel Decker, 2001.
- CANEVAROLO JR., S. V. **Técnicas de caracterização de polímeros**. São Paulo: Artliber, 2003.
- CHATKITANAN, T.; HARNKARNSUJARIT, N. Development of nitrite compounded starch-based films to improve color and quality of vacuum-packaged pork. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 25, n. May, p. 100521, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100521>>.
- HOLLER, F. J.; SKOOG, D. A.; CROUCH, S. R. **Princípios de Análise Instrumental**. 6. ed. Porto Alegre - RS: Bookman, 2009.
- HOSSEINI, S. F. et al. Bio-based composite edible films containing *Origanum vulgare* L. essential oil. **Industrial Crops and Products**, v. 67, p. 403–413, 2015. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669015000643>>.
- ILHARCO, L. M. Espectroscopia de infravermelho uma técnica antiga, sempre atual. **Química**, v. 69, n. espectroscopia IV, p. 34–45, 1998.
- KAMEDA, T. et al. Chemical modification of poly(vinyl chloride) by nucleophilic substitution. **Polymer Degradation and Stability**, v. 94, n. 1, p. 107–112, 2009.
- KOMIYAMA, S. et al. A single-photon detector in the near-infrared range. **Nature**, v. 403, n. 27, p. 405–407, 2000.
- LEITE, D. de O.; PRADO, R. J. Espectroscopia no infravermelho : uma apresentação para o Ensino Médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 34, n. 2, p. 25041–25049, 2012. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169743916305500>>.
- MULLA, M. et al. Antimicrobial efficacy of clove essential oil infused into chemically modified LLDPE film for chicken meat packaging. **Food Control**, v. 73, p. 663–671, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.09.018>>.



- OLIVEIRA, T. A. et al. Effect of reprocessing cycles on the degradation of PP/PBAT-thermoplastic starch blends. **Carbohydrate Polymers**, v. 168, p. 52–60, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.03.054>>.
- PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: Fundamentals, practical aspects and analytical applications. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 14, n. 2, p. 198–219, 2003.
- PAVIA, D. L. et al. **Introduction to Spectroscopy**. 5. ed. Estados Unidos: CENGAGE Learning, 2015.
- PEREIRA JR, V. A.; ARRUDA, I. N. Q.; STEFANI, R. Active chitosan / PVA films with anthocyanins from Brassica oleraceae (Red Cabbage) as Time e Temperature Indicators for application in intelligent food packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 43, p. 180–188, 2014.
- PIRES, M. et al. Efeito da migração de composto antimicrobiano nas propriedades finais de selagem de filme poliolefínico. **Polímeros**, v. 24, p. 237–242, 2014.
- SCHMITT, J.; FLEMMING, H.-C. FTIR-spectroscopy in microbial and material analysis. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 41, n. 1, p. 1–11, 1998.
- SENRA, T. D. A.; KHOUKH, A.; DESBRIÈRES, J. Interactions between quaternized chitosan and surfactant studied by diffusion NMR and conductivity. **Carbohydrate Polymers**, v. 156, p. 182–192, 2017.
- SILVERSTEIN, R. M.; WEBSTER, F. X.; KIEMLE, D. J. **Identificação espectrométrica de compostos orgânicos**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.

A TÉCNICA DE DIFRAÇÃO DE RAIOS X APLICADA A CARACTERIZAÇÃO DE POLÍMEROS: UMA REVISÃO

THE X-RAY DIFFRACTION TECHNIQUE APPLIED TO THE CHARACTERIZATION OF POLYMERS: A REVIEW

DOI: 10.51859/AMPLA.PCE2111-9

Ivo Diego de Lima Silva ¹

José Augusto de Almeida Nascimento ²

Michelle Félix de Andrade ³

Viviane Fonseca Caetano ⁴

Yeda Medeiros Bastos de Almeida ⁵

Glória Maria Vinhas ⁶

¹ Doutor em Ciências de Materiais. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

² Mestre em Ciência de Materiais. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

³ Doutor em Ciências de Materiais. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

⁴ Doutora em Engenharia Química. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

⁵ Professora Titular do Departamento Engenharia Química. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

⁶ Professora Associada do Departamento Engenharia Química. Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

RESUMO

Os polímeros são materiais versáteis que podem ser aplicados em diversas áreas, como embalagens, médica, biomédica, automobilística etc. No entanto, para avaliar a sua melhor aplicabilidade torna-se necessário a avaliação de suas propriedades por técnicas de caracterização. Dentre essas técnicas, tem-se a difração de raios X, que é utilizada para mensurar os planos cristalográficos, tamanho de cristalito e o grau de cristalinidade. Essa técnica baseia-se no bombardeamento de elétrons em um alvo, ocasionando as transições eletrônicas dos átomos da amostra, e a energia é difratada como fótons de energia na ordem de raios X. Sendo assim, neste trabalho foi realizada uma sucinta revisão sobre a técnica de difração de raios X e a importância como ferramenta para estudo de materiais poliméricos em diversas aplicações.

Palavras-chave: Polímeros, técnicas de caracterização, difração de raios X.

ABSTRACT

Polymers are versatile materials that can be applied in several areas, such as packaging, medical, biomedical, automotive, etc. Among these techniques, X-ray diffraction is used to measure the crystallographic planes, crystallite size, and the degree of crystallinity. This technique is based on the bombardment of electronic samples on a target, occasional as transitions of electrons atoms, and the energy is diffracted as energy photons in the X-ray order. X-ray diffraction and importance as a tool for studying applications of polymeric materials in several applications.

Keywords: Polymers, characterization techniques, X-ray diffraction.

1. INTRODUÇÃO

Os polímeros são macromoléculas formadas por diversas unidades de repetição, denominadas meros, ligados covalentemente entre si (CANEVAROLO JUNIOR, 2006). Desempenham uma relevante função na vida moderna, pois eles são utilizados em diversas aplicações, desde materiais de uso cotidiano (vestuário, bijuterias e embalagens) até aplicações de alta tecnologia (microencapsulamentos, próteses). Essa extensa gama de aplicações é consequência de suas propriedades como resistência, leveza, facilmente processáveis e atoxidade, entre outros (BLAZEK e HUI, 2012).

Como a aplicabilidade dos materiais poliméricos estão relacionados com suas propriedades físico-químicas se faz necessário o uso de técnicas de caracterizações específicas, como, a espectroscopia de infravermelho, propriedades térmicas, propriedades mecânicas, difração de raios X, entre outras, para confirmar a viabilidade de suas aplicações.

A difração de raios X é bastante utilizada para a caracterização estrutural de materiais cerâmicos e metálicos, entretanto, pode ser utilizado para a avaliação de polímeros semicristalinos, podendo mensurar os planos cristalográficos e o grau de cristalinidade (CANEVAROLO JUNIOR, 2004). A técnica é baseada no bombardeamento de elétrons em um alvo que promove as transições eletrônicas dos átomos da amostra e a energia é difratada como fótons de energia na ordem de raios X, dependendo do ordenamento (retículo cristalino) do alvo ocorre interferência construtiva e as ondas aumentam de amplitude e conseguem chegar ao detector.

Nesse presente trabalho de revisão será destacado a importância da difração de raios X, como ferramenta para estudo de materiais poliméricos em diversas aplicações.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. ASPECTOS TEÓRICOS

A difração de raios X é bastante utilizada para a caracterizar os sólidos metálicos e cerâmicos, entretanto, também pode ser utilizada para a caracterização materiais poliméricos semicristalinos. Diversas propriedades físicas, mecânicas e termodinâmicas dos polímeros semicristalinos estão relacionadas com o grau de cristalinidade e a

morfologia das regiões cristalinas presentes nos polímeros (MARAVI, BAJPAI e BAJPAI, 2018).

A técnica é baseada no bombardeamento de um alvo com elétrons de alta energia que ao incidir na amostra, permitem a emissão de fótons de radiação de raios X, com propriedades (intensidade e comprimento de onda) intrínsecas de cada tipo de alvo que está sofrendo o bombardeamento (CANEVAROLO, 2004).

O feixe de elétrons ao atingir a amostra possui energia suficiente para promover a ejeção de elétrons próximos ao núcleo da camada K para um nível mais externo, uma vez que ocorre essa ejeção, o átomo necessita de um reordenamento, cujo, o elétron da camada L passa ocupar a posição inicial do elétron K, nesse processo ocorre a liberação do fóton de radiação X, conforme Figura 1 (CANEVAROLO, 2004).

Figura 1 - Ilustração de emissão de raios X de um átomo.

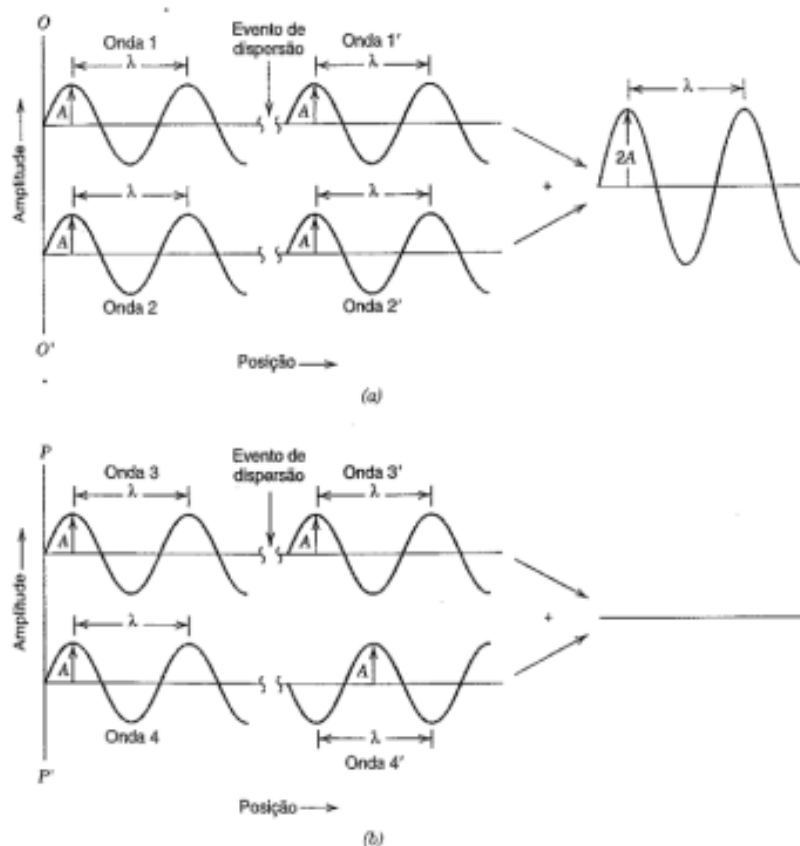


Fonte: Canevarolo (2004).

A difração ocorre quando um feixe de raios X são incididos na amostra e uma onda encontra uma série de obstáculos regularmente separados que são capazes de promover uma dispersão da onda e que possuam espaçamentos comparáveis em magnitude ao comprimento de onda (CALLISTER JUNIOR, 2002). As ondas eletromagnéticas dispersas podem promover interferência construtivas ou destrutivas, conforme o ordenamento das estruturas das amostras.

Observando a Figura 2a pode-se notar a presença de duas ondas que possuem o mesmo comprimento de onda (λ) e estão em fase no ponto O-O'. Supondo que as ondas são dispersas em diferentes trajetórias, pode-se dizer que a relação de fases da onda irá depender do comprimento de onda das trajetórias (CALLISTER JUNIOR, 2002).

Figura 2 - Esquema de difração das ondas. (a) Ondas que se encontram em fase (b) Ondas que não se encontram em fase.

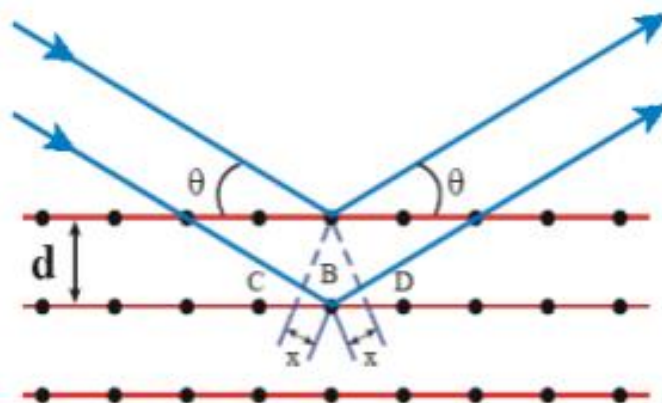


Fonte: Callister Junior, (2002).

Em resumo, quando as trajetórias possuem comprimentos de ondas inteiros (estrutura ordenada), no momento, em que as ondas são dispersadas elas se encontram em fases, ocorrendo uma interferência construtiva que se reforça entre si e é gerada uma onda com amplitude somada, conforme Figura 2a. Quando as trajetórias possuem comprimento de ondas na ordem de números inteiros e meios de comprimento de onda (estrutura desordenada) à medida que as ondas se encontram fora de fase, ocorrem uma interferência destrutiva que anulam as amplitudes, conforme Figura 2b.

Se os átomos que geram o espalhamento estiverem distribuídos de forma organizada (estrutura cristalina) pode notar que as relações de fases entre os espalhamentos tornam-se periódicas e que a difração dos raios X podem ser observados em vários ângulos de incidência da amostra, desde que o comprimento de onda seja da ordem da grandeza das distâncias entre os centros espalhadores d (distância interplanar), como resultado de um interferência construtiva e portanto gerando espalhamentos que atende a lei de Bragg, conforme Figura 3 (ANTONIASSI, 2010).

Figura 3 - Esquema da difração de raios X conforme a lei de Bragg.



Fonte: Antoniassi (2010).

A lei de Bragg é expressa pela equação 1:

$$n \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot \sin \theta \quad (1)$$

Onde λ é atribuído ao comprimento de onda da radiação incidente, “n” à ordem de difração (número inteiro), “d” a distância interplanar para o conjunto de planos hkl (índices de Miller) da estrutura cristalina e θ ao ângulo de incidência dos raios X.

Os ângulos θ dos raios X estão vinculados com as dimensões das celas unitárias e as orientações dos planos cristalográficos do material cristalino, ou seja, dois minerais que apresentam dimensões idênticas das células unitárias geram o mesmo padrão de reflexão dos raios, entretanto, em relação as intensidades, dependem do número de elétrons nos átomos (ANTONIASSI, 2010). Logo, cada composto cristalino apresenta padrões de difração específico, permitindo a identificação através das posições angulares e intensidade relativa dos feixes difratados (ANTONIASSI, 2010).

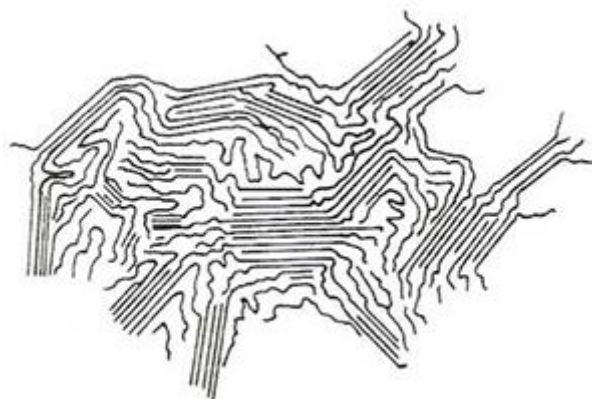
Através da técnica de difração de raios X pode-se estudar os planos cristalográficos dos polímeros cristalinos, tamanho de cristalito e seu grau de cristalinidade.

2.2. OBTENÇÃO DO GRAU DE CRISTALINIDADE E TAMANHO DO CRISTALITO

O caráter semicristalino dos polímeros pode ser determinado a partir da técnica de DRX, tendo em vista que ao contrário de materiais com alta teor de cristais, os quais apresentam picos difração bem definidos, os materiais poliméricos possuem alargamento e superposições em suas bandas de difração (SANCHEZ e MASCARENHAS, 2011). Esse efeito ocorre devido a coexistência das regiões ordenadas e desordenadas no mesmo material (AKCELRUD, 2007).

Para exemplificar, temos na Figura 4 o modelo da micela franjada, em que descreve as estruturas dos polímeros. A partir da imagem é possível notar que as cadeias longas dos polímeros formam regiões com estruturas ordenadas e outras desordenadas (SANCHEZ e MASCARENHAS, 2011). A razão entre essas as fases amorfas e cristalinas podem influenciar nas propriedades dos polímeros, como, as mecânicas e térmicas.

Figura 4 – Modelo de micela franjada

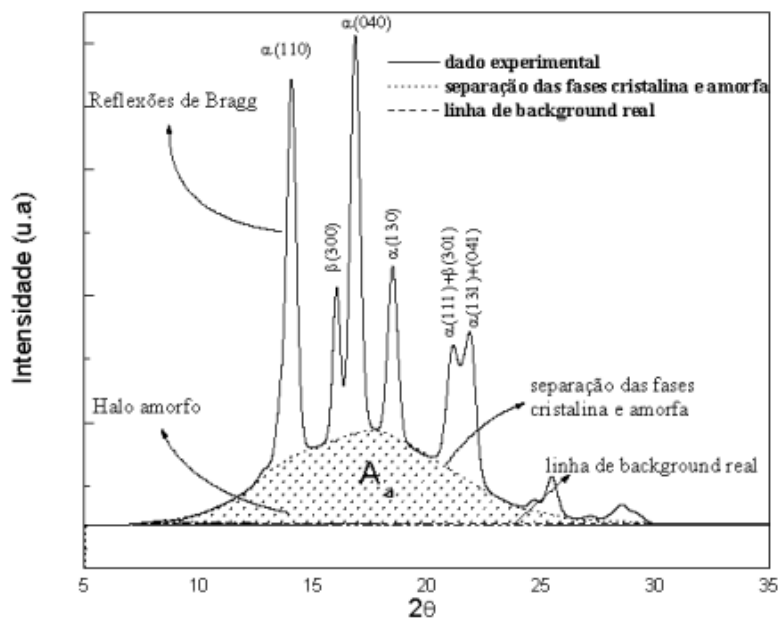


Fonte: Sanchez e Mascarenhas (2011).

O uso da difração de raios X para a quantificação do grau de cristalinidade em materiais poliméricos se deu a partir do desenvolvimento de toda a base de cálculo construída por Ruland durante a década de 1960 (CANEVAROLO JÚNIOR, 2004).

Para a obtenção do grau de cristalinidade a partir do difratograma de DRX se deve classificar as áreas correspondente a fração amorfa e cristalina do polímero de estudo. Como exemplo, temos a Figura 5 que apresenta o difratograma do polipropileno isostático, juntamente com toda a classificação das áreas cristalinas e amorfas contidas no gráfico.

Figura 4 – Difratograma do polipropileno isostático.



Fonte: Azeredo, Mauler e Simanke (2010).

A região A_a indica a área correspondente da fração amorfa e as regiões referentes aos picos de difração correspondem em seu somatório a área cristalina (A_c) do polímero. Para o cálculo do grau de cristalinidade (X_c) deve-se utilizar a equação 2.

$$X_c = \frac{A_c}{A_a + A_c} \times 100 \quad (2)$$

A partir da base de cálculos propostos por Sherrer (1918) pode-se também determinar pelo difratograma, o tamanho médio dos cristais existentes em um material polimérico. De acordo com Ulbrich e Campos (2021) a largura do pico de difração é inversamente proporcional a espessura do cristal. Em resumo, um monocristal apresenta um pico estreito e definido, enquanto para um material policristalino ocorre um alargamento do pico. Outro fator que deve ser considerado é a intensidade da banda de difração, uma vez que a quantidade de cristalitos pode aumentá-la. Logo, para determinar o tamanho de cristalito se deve utilizar a largura à meia altura (β) – comumente medida em radianos.

A equação 3 apresenta a equação proposta por Sherrer (1918).

$$\tau = \frac{K \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta} \quad (3)$$

Em que τ é o tamanho médio dos cristalitos, K é um fator para a forma do cristal, sendo-o considerado esférico e assim recebendo o valor de 0,89 (fator adimensional), λ é o comprimento de onda dos raios X e β é o alargamento Lorentziano a meia altura do pico em radianos.

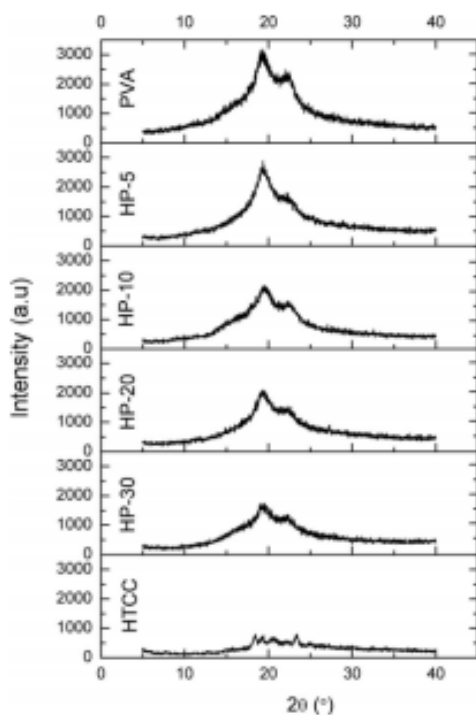
2.3. APLICAÇÃO DO DRX EM MATERIAIS POLIMÉRICOS

Encontra-se na literatura diversos trabalhos que utiliza o DRX como técnica para caracterização de polímeros semicristalinos.

Hu e Wang (2016) desenvolveram blendas com propriedades antimicrobianas constituídas de poli(álcool vinílico) e quitosana de cloreto de N- (2-hidroxi) propil-3-trimetil amônio (HTCC), a partir da técnica de evaporação do solvente. As blendas de HTCC/PVA foram indicadas como HP-5, HP-10, HP-20 e HP-30 em uma proporção de peso de 5:95; 10:90; 20:80 e 30:70, respectivamente.

A difração de raios X foi utilizada para a avaliação qualitativa da cristalinidade da blenda polimérica. A Figura 16 apresenta os difratogramas das amostras de PVA, HP-5, HP-10, HP-20, HP-30 e HTCC. Pode-se notar no difratograma a presença de dois picos cristalinos nas regiões de 19 e 22,5° que são característicos do poli (álcool vinílico). Percebe-se que o aumento do teor de HTCC na blenda polimérica apresenta uma diminuição da intensidade desses picos, que pode ser explicado pela diminuição das interações de hidrogênios nas estruturas poliméricas, que resulta na diminuição da ordem cristalina do PVA.

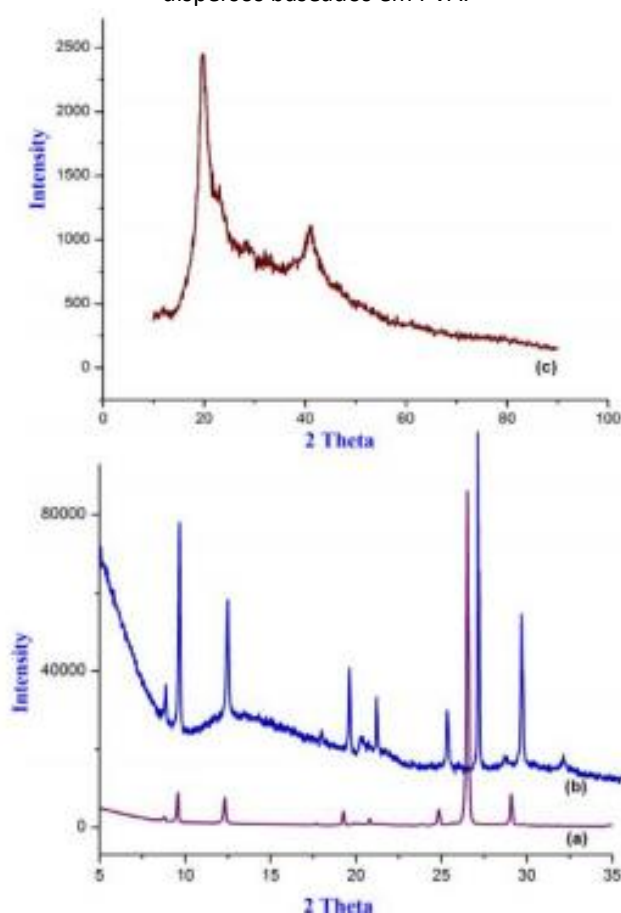
Figura 5 - DRX das amostras de PVA, HP-5, HP-10, HP-20, HP-30 e HTCC.



Fonte: Hu e Wang (2016).

Maravi, Bajpai e Bajpai (2018) produziram filmes de PVA reforçados com óxido de grafeno reduzido termicamente (TRGO) através da técnica de evaporação do solvente. A difração de raios X foi utilizada para a determinação do índice de cristalinidade e tamanho dos cristalitos dos filmes nanocompósitos. A Figura 17 apresenta os difratogramas dos filmes de PVA do grafite puro, TRGO e filmes nanocompósitos de PVA/TRGO.

Figura 6 - Padrão de XRD de (a) grafite pura, (b) TRGO e (c) nanocompósitos TRGO homogeneamente dispersos baseados em PVA.



Fonte: Maravi, Bajpai e Bajpai (2018).

O padrão de difração do grafite puro está apresentado na Figura 17a, que mostra um padrão de difração em $26,5^\circ$ do plano cristalográfico 002 com espaçamento interplanar de $3,35 \text{ \AA}$ e um pico de menor intensidade em $29,08^\circ$ antes da redução térmica. A utilização da equação de Debye Scherrer permitiu calcular o tamanho dos grãos e a percentagem de cristalinidade (X_c) dos flocos de grafite, que foram de 10,30 e 93,2%, respectivamente.

A Figura 17b apresenta o padrão de difração do óxido de grafeno reduzido termicamente (TRGO) que indica a presença de um pico intenso em aproximadamente $9,6^\circ$ atribuído ao pico de reflexão (001). No TRGO também pode-se encontrar o pico centrado em aproximadamente $26,65^\circ$ e $29,14^\circ$ que corresponde ao espaçamento interplanar de 0,35 nm, o que indica que as nanopartículas TRGO fracamente empilhadas diferentemente do grafite cristalino. A expansão do espaçamento interplanar das amostras de TRGO quando comparada ao grafite é geralmente atribuída à inserção de grupos contendo oxigênio e moléculas de água.

A Figura 17c apresenta o padrão de difração para os filmes nanocompósitos de PVA/TRGO. Na figura foi observado apenas os picos característicos do PVA, o que indica uma boa dispersão das nanofolhas de TRGO na matriz polimérica. Os picos atribuídos ao PVA encontram-se em $19,85^\circ$ e $41,26^\circ$ que estão relacionadas aos planos cristalográficos (002) e (100), respectivamente.

Além disso, o autor afirma que após a adição de TRGO na matriz de PVA, ocasiona na diminuição da intensidade dos picos de difração de PVA. Este efeito pode ser atribuído devido as interações interfaciais mais fortes entre o TRGO e o PVA através da ligação de hidrogênio.

O tamanho médio de grão das nanofolhas de TRGO foi calculado pela equação de Debye Scherrer e foi encontrado o valor de 9,32 nm. A porcentagem de cristalinidade de vários filmes de nanocompósitos de TRGO-PVA foi calculada e está resumida na Tabela 1.

Tabela 1- Porcentagens de cristalinidade dos nanocompósitos de TRGO em matriz polimérica de PVA homogeneamente dispersos.

| Porcentagem de TRGO | Porcentagem de cristalinidade |
|---------------------|-------------------------------|
| 0% | 54,8% |
| 2% | 91,2% |
| 4% | 82,4% |
| 6% | 73,3% |
| 8% | 68,7% |
| 10% | 62,6% |

Fonte: Adaptada de Maravi, Bajpai e Bajpai (2018).

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A técnica de difração de raios X é muito utilizada para avaliar materiais poliméricos e essencial para definir a aplicação mais satisfatória do material. Além disso, a razão entre as fases amorfas e cristalinas influenciam em várias propriedades dos polímeros, como por exemplo, nas mecânicas e térmicas. Sendo assim, o domínio dos fundamentos teóricos da técnica, assim como os resultados obtidos, é necessário para melhor conhecer o material polimérico e sua aplicação.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelas bolsas de estudo concedidas.

REFERÊNCIAS

- AKCELRUD, L. **Fundamentos da ciência dos polímeros**. 1 ed. Editora Manole Ltda. São Paulo, Brasil. 2007
- ANTONIASSI, J L. **A difração de raios X com o método de Rietveld aplicada a bauxitas de Porto Trombetas**, PA. 2010. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.
- AZEREDO, A. P.; MAULER, R. S.; SIMANKE, A. G.. **Estudo e avaliação de diferentes nucleantes na morfologia e nas propriedades de polipropileno**. 2010. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Química, Instituto de Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.
- BLAZEK, G. R.; HUI, W. S. **Estudo da Blenda Poli(3-Hidroxibutirato)/Poli(EtilenoGlicol)**. 2012. 80 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- CALLISTER JUNIOR, W. D. **Ciência e Engenharia Materiais: uma introdução**. 5 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2002.
- CANEVAROLO JUNIOR, S. V. **Técnicas de caracterização de polímeros**. São Paulo: Artiber, 2004. 448 p.
- CANEVAROLO JUNIOR, S. V. **Ciência dos Polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2. ed. São Paulo: Artiber Editora Ltda., 2006. 280 p.

HU, D; WANG, L. Fabrication of antibacterial blend film from poly (vinyl alcohol) and quaternized chitosan for packaging. **Materials Research Bulletin**, [s.l.], v. 78, p.46-52, jun. 2016.

MARAVI, S.; BAJPAI, A. K.; BAJPAI, J. Poly (vinyl alcohol) supported thermally reduced graphene oxide (TRGO) nanosheets exhibit enhanced electrical and mechanical behavior. **Nano-structures & Nano-objects**, [s.l.], v. 14, p.73-83, abr. 2018

ULBRICH, K. F.; CAMPOS. **Síntese e Caracterização de um Novo Telureto de Ferro Nanocristalino Produzido por Mecanoquímica**. 2021. 106 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Física, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021.

Scherrer P. Göttinger Nachrichten Math. **Phys 2**. 1918;98–100.

SANCHES, E. A.; MASCARENHAS, Y. P.. **Estudo de XRD e SAXS aplicados à polianilina e à poli(o-metoxianilina)**. 2011. 147 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

SCREENING FITOQUÍMICO E ATIVIDADE FUNGICIDA DAS NANOEMULSÕES DOS ÓLEOS ESSENCIAIS E EXTRATOS HIDROALCÓOLICOS DAS FOLHAS DE *OCIMUM CITRIODORUM* L.

PHYTOCHEMICAL SCREENING AND FUNGICIDAL ACTIVITY OF NANOEMULSIONS OF ESSENTIAL OILS AND HYDROALCOHOLIC EXTRACTS FROM THE LEAVES OF *OCIMUM CITRIODORUM* L.

DOI: 10.51859/AMPLA.PCE2111-10

Cassiano Vasques Frota Guterres¹
Wallyson Rangel Ribeiro Oliveira²
Ana Catharinny da Silva de Oliveira³
Ana Paula Muniz Serejo⁴
Victor Elias Mouchrek Filho⁵
Gustavo Oliveira Everton⁶

¹ Licenciatura em Química (LOEP/UFMA). Universidade Federal do Maranhão - UFMA

² Mestrado em Saúde e Ambiente (PPGSA/UFMA). Universidade Federal do Maranhão - UFMA

³ Mestrado em Saúde e Ambiente (PPGSA/UFMA). Universidade Federal do Maranhão - UFMA

⁴ Mestrado em Saúde e Ambiente (PPGSA/UFMA) – Docente Faculdade Maurício de Nassau (UNINASSAU). Universidade Federal do Maranhão - UFMA

⁵ Doutorado em Química (USP) - Docente Titular (LOEP/UFMA). Universidade Federal do Maranhão - UFMA

⁶ Doutorado em Química UFMA-IFMA (LOEP/UFMA). Universidade Federal do Maranhão – UFMA

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar o perfil fitoquímico e determinar o potencial da atividade fungicida das nanoemulsões do óleo essencial e extrato hidroalcoólico de *O. citriodorum* L. As folhas foram obtidas em São Luís, Maranhão, Brasil, e posteriormente trituradas e armazenadas. O óleo essencial foi obtido por hidrodestilação (100°C/3h). Para obtenção do extrato hidroalcoólico, utilizou-se a maceração em extrato solvente etanol PA 70% (v/v). Para determinar a atividade antifúngica, foi utilizada a técnica preconizada pelo International Clinical Laboratory Standard através da técnica de Diluição em Caldo e Semeadura e Ágar para determinar a Concentração Inibitória Mínima (CIM) e a Concentração Fungicida Mínima (CFM), respectivamente, frente às cepas de *Aspergillus niger* (ATCC 6275), *Colletotrichum gloeosporioides* (ATCC 96723), *Penicillium chrysogenum* (ATCC 10106). Os resultados obtidos para ação fungicida atestaram CIM e forte inibição para ação de óleos essenciais e extratos hidroalcoólicos com concentração de 250 µg mL⁻¹ frente a *A. niger*, *C. gloeosporioides* e *P. chrysogenum*. CFM's de 300, 250 e 500 mL⁻¹ foram observados frente a *A. niger*, *C. gloeosporioides* e *P. chrysogenum*, respectivamente. Com os resultados obtidos afirma-se que foi obtida uma nanoemulsão estável tanto para o extrato hidroalcoólico como para óleo essencial e que apresentam compostos ativos nos quais favorecem uma excelente atividade antifúngica.

Palavras-chave: Antimicrobiano. Fungicida. Inibição.

1. INTRODUÇÃO

A farmacologia em relação aos produtos naturais é essencial, pois o homem percebeu a necessidade em relação às suas propriedades anti-inflamatórias e bactericidas, assim houve uma constante difusão do conhecimento tanto cultural (principalmente pela cultura indígena baseada no conhecimento empírico) quanto científico. O estudo de plantas com potencial medicinal, principalmente aquelas presentes em nosso hábito nutricional (VARGAS et al., 2019), pode oferecer excelentes propriedades e ativos fitoterápicos. Dentro desse contexto, existem diversos estudos científicos que comprovam significativamente sua ação fitoterápica e suas atividades antimicrobianas (LARIBI et al., 2015).

Com base nesse princípio, uma planta que se destaca por essas características é o *Ocimum citriodurum* L. (manjeriço comercial), com caule ereto e ramificado e folhas relativamente pequenas com cheiro peculiar, popularmente conhecido como manjeriço de folha pequena *O. citriodurum* L. ciclo de vida anual, predominante em regiões de clima subtropical ou temperado, podendo ser facilmente encontrado em áreas onde há variações quentes e úmidas (SOUSA et al., 2014).

O consumo de manjeriço está ligado a inúmeros benefícios para a saúde. Apesar de ser utilizado como parte do hábito nutricional, esse alimento é constantemente utilizado com o intuito de proteger o organismo dos ataques bacterianos, excelente estimulante do sistema nervoso, além de trazer grandes benefícios para a pele, visão e estresse (MODRO et al., 2015). Comumente repassado através de receitas baseadas no conhecimento popular o chá deste, como um ótimo desintoxicante, auxiliando no combate a qualquer tipo de infecção que possa surgir no organismo. É notório que muitas dessas práticas são comuns nas regiões: norte e nordeste do Brasil, pois apresentam o cultivo abundante de manjeriço (SHAKERI et al., 2016).

Em diversos estudos, as plantas apresentam diversos produtos biologicamente ativos, corroborando que muitos constituem modelos para a síntese de um número significativo de fármacos. Pesquisadores se maravilham com a grande variedade desses produtos, mas 19 dados mostram que apenas 15 a 17% das plantas foram estudadas por seu potencial medicinal (MARTINS, 2010).

Leva-se em consideração que os óleos essenciais de vegetais possuem um alto índice de toxicidade, portanto, é aconselhável aplicá-los em pequenas concentrações nas quais são desenvolvidas atividades relacionadas à sua volatilidade. Nessa perspectiva, eles são sustentados por sua atuação como fungicidas e bactericidas e inseticidas (SODAEIZADEH et al., 2010). Assim, este trabalho teve como objetivo analisar o perfil fitoquímico e determinar a potencial atividade fungicida da folha de *Ocimum citriodorum* L.

2. METODOLOGIA

2.1. OBTENÇÃO DO MATERIAL VEGETAL

Folhas de *O. citriodorum* L foram coletadas no município de São Luís, Brasil. As amostras foram depositadas no Herbário Sótão Seabra da Universidade Federal do Maranhão. Após a coleta, as espécies vegetais foram transportadas para o Laboratório de Pesquisa e Aplicação de Óleos Essenciais (LOEPAV/UFMA).

2.2. EXTRAÇÃO DO ÓLEO ESSENCIAL

Para extração dos óleos essenciais, utilizou-se a técnica de hidrodestilação com um extrator de Clevenger de vidro acoplado a um balão de fundo redondo acondicionado em manta elétrica como fonte geradora de calor. Foram utilizadas 100g, adicionando-se água destilada (1:10). A hidrodestilação foi conduzida a 100°C por 3h recolhendo-se o óleo essencial extraído. Cada óleo essencial foi seco por percolação com sulfato de sódio anidro (Na_2SO_4) e centrifugado. Essas operações foram realizadas em triplicata e as amostras armazenadas em vials âmbar sob refrigeração de 4°C. Posteriormente submetido as análises.

2.3. PREPARAÇÃO DE EXTRATOS HIDROALCOÓLICOS

Para a preparação de extratos hidroalcoólicos utilizaram 100 g de material vegetal in natura. O processo de maceração foi utilizado com solvente extrato etanoico PA 70% (v/v) na proporção de 1:10. A solução obtida após 7 dias foi filtrada e concentrada em evaporador rotativo sob pressão reduzida, após o processo o extrato foi seco para remoção do solvente residual para posterior análise (HARBORNE, 1998). O extrato hidroalcoólico obtido foi submetido a testes químicos baseados na metodologia

apresentada por (MATOS, 2009). Os testes realizados para identificar alcaloides, esteroides, fenólicos, flavonoides, glicosídeos, glicosídeos cardíacos, saponinas e taninos.

2.4. PREPARAÇÃO DE NANOEMULSÕES

A preparação das nanoemulsões foi realizada de acordo com as metodologias adaptadas descritas por Lima et al. (2020), Sugumar et al. (2014), Kubitschek et al. (2014) e Rodrigues et al. (2014). As nanoemulsões foram formuladas com o óleo essencial/extrato hidroalcólico obtido, tensoativo não iônico (Tween 20) e água.

As quantidades necessárias de cada constituinte da fase oleosa foram aquecidas a $65 \pm 5^\circ\text{C}$. A fase aquosa foi aquecida separadamente a $65 \pm 5^\circ\text{C}$, adicionada suavemente e misturada com a fase oleosa, proporcionando uma formulação primária, pelo método de inversão de fases. A homogeneização final foi realizada utilizando um agitador magnético, no qual a formulação permaneceu sob agitação constante a 6000 rpm, até atingir uma redução de temperatura para $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$.

Para comprovar a estabilidade, a nanoemulsão formulada foi submetida a diferentes testes de estresse de acordo com a metodologia descrita por (SHAFIQ et al., 2007). Eles foram avaliados quanto à separação de fases por centrifugação. O ciclo de aquecimento-resfriamento foi realizado mantendo a nanoemulsão formulada a 40 e 4°C , alternando cada temperatura por 48 h. O ciclo foi repetido três vezes. Isso foi feito para verificar a estabilidade da nanoemulsão em temperaturas variadas. O estresse de congelamento-descongelamento foi realizado mantendo a nanoemulsão alternadamente a -21 e 25°C por 48 h em cada temperatura. O ciclo foi repetido duas vezes. O experimento foi realizado em triplicata. As formulações aprovadas nos testes de estresse termodinâmico foram levadas para estudos de ação antifúngica.

2.5. PADRONIZAÇÃO DE INÓCULO MICROBIANO PARA TESTE DE SENSIBILIDADE

Três cepas de fungos foram usadas: *Aspergillus niger* (ATCC 6275), *Colletotrichum gloeosporioides* (ATCC 96723) e *Penicillium chrysogenum* (ATCC 10106). Estes foram previamente identificados e confirmados por testes bioquímicos. Culturas puras mantidas em ágar TSA foram subcultivadas em caldo de infusão de cérebro e coração (BHI) e incubadas a 35°C até atingir a fase de crescimento exponencial (4-6 h).

Após esse período, as culturas tiveram sua densidade celular ajustada em solução salina 0,85% estéril, a fim de obter uma turbidez comparável à solução padrão McFarland 0,5, o que resulta em uma suspensão microbiana contendo aproximadamente $1,5 \times 10^8$ UFC mL^{-1} de acordo com o Clinical and Laboratory Standards Institute (2020).

2.6. CONCENTRAÇÃO INIBITÓRIA MÍNIMA (MIC) E CONCENTRAÇÃO MÍNIMA (CFM)

Este ensaio avaliou a Concentração Inibitória Mínima (CIM) e a Concentração Fungicida Mínima (MFC) dos óleos essenciais e extratos hidroalcoólicos. O ensaio de MIC foi realizado utilizando a técnica de diluição em caldo proposta pelo Clinical and Laboratory Standards Institute (2020). Primeiramente, as soluções de OE foram preparadas com Tween 20 a 2% e diluições seriadas em caldo BHI para o ensaio fúngico, resultando em concentrações de 10 a 1000 $\mu\text{g mL}^{-1}$. As nanoemulsões foram diluídas diretamente no meio de cultura.

Em cada concentração, foram adicionadas suspensões fúngicas contendo $1,5 \times 10^8$ UFC mL^{-1} das cepas. Os tubos foram incubados a 25°C por 24-48h para cepas fúngicas. Controles de esterilidade e crescimento foram realizados para o ensaio realizado. Após o período de incubação, verificou-se a CIM do OE, sendo definida como a menor concentração que inibiu visivelmente o crescimento fúngico (ausência de turbidez visível). Ensaios realizados em triplicado.

Para o ensaio CFM das diluições do caldo BHI que inibiram visivelmente o crescimento fúngico. Alíquotas foram inoculadas em Sabourad Dextrose Agar (ASD) com posterior incubação a 35°C por 24h. O CFM foi determinado como a menor concentração que visualmente no ensaio CIM mostrou inibição do crescimento e que nas culturas para os ensaios fungicidas também não apresentou crescimento visível.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. PERFIL FITOQUÍMICO

A Tabela 1 apresenta os metabólitos secundários identificados na folha de *O. citriodorum* L.

Tabela 1 - Metabólitos secundários identificados na folha de *O. citriodorum* L.

| Classe fitoquímica | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| <i>Ocimum citriodorum</i> L. | + | - | + | + | + | - | + | - | - |

Nota: 1:Alcalóides; 2:Esteróides; 3:Fenólicos; 4:Fenóis; 5:Flavonoides; 6:Glicosídeos; 7:Glicosídeos cardíacos; 8: Saponinas; 9:Taninos; (+) presença; (-) ausência.

Conforme apresentado na Tabela 1, observou-se a presença de alcaloides, com o resultado positivo determinando a presença de um produto nitrogenado na composição da folha de *O. citriodorum* L. Os alcaloides são compostos orgânicos cíclicos que possuem pelo menos um único átomo de nitrogênio em seu anel, sendo sintetizados por metabolismo secundário. São amplamente utilizados como venenos e alucinógenos por terem um efeito relevante no sistema nervoso (VIZZOTTO et al., 2010). Esses compostos são estruturalmente diversos e possuem ampla utilização na farmacopeia, destacando-se suas atividades anestésicas, antitumorais e antimicrobiológicas (SANTOS et al., 2018).

Notou-se também a presença de glicosídeos cardiotônicos, verificou-se que as reações foram positivas, determinando também através do trabalho de Dornelis (2015) ser positivo para a variedade foliar de *O. citriodorum* L, determinando que este metabólito secundário é comum para essa variedade.

3.2. ATIVIDADE ANTIFÚNGICA

De acordo com a Tabela 2, estão descritos os resultados para a determinação da atividade antifúngica dos bioprodutos analisados.

Tabela 2- Atividade antifúngica do óleo essencial, extrato hidroalcoólico e *O. citriodorum* L

| | <i>Aspergillus niger</i> | | <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> | | <i>Penicillium chrysogenum</i> | |
|------------|--------------------------|------|---------------------------------------|------|--------------------------------|------|
| | MIC | CFM | MIC | CFM | MIC | CFM |
| | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L | mg/L |
| OE | 250 | 300 | 250 | 400 | 250 | 300 |
| EH | 250 | 500 | 250 | 500 | 250 | 500 |
| NOE | 120 | 250 | 110 | 300 | 130 | 250 |
| NEH | 120 | 250 | 110 | 300 | 130 | 250 |

De acordo com a Tabela 2, afirma-se que um excelente resultado foi atestado para as cepas utilizadas, destacando uma ação inibitória mais efetiva contra *A. niger*, encontrando um CIM muito razoável e baixa de 250 mg L⁻¹ para óleo essencial e extrato hidroalcólico, em relação às nanoemulsões (NOE2) e (NEH2) que apresentaram CIM de 110 mgL⁻¹, mostrando uma ação mais efetiva.

De acordo com os dados citados, foi possível identificar as cepas fúngicas com maior inibição seguindo o padrão de seleção de Aligiannis et al. (2001), que emprega os seguintes critérios para a concentração inibitória mínima (CIM) para atividades antimicrobianas, com inibição efetiva para CIM menor que o quantitativo de 500 µg mL⁻¹.

Em relação ao teste de Concentração Inibitória Mínima (MFC), a Tabela 2 mostra que os resultados mais satisfatórios para a nanoemulsão de óleo essencial e o extrato hidroalcólico contra as cepas de *A. niger* e *P. chrysogenum*, com 250 mgL⁻¹ CFM em comparação com *C. gloeosporioides*.

Através dos dados citados no CFM, podemos afirmar que os resultados envolvendo nanoemulsões potencializaram a ação contra os microrganismos estudados (ALIGIANNIS et al., 2001), isso se justifica devido ao fato das partículas envolvidas estarem em escala nanométrica, o que caracteriza exatamente a nanoemulsão, facilitando assim a ação do óleo essencial e do extrato hidroalcólico em relação à morfologia dos fungos patogênicos (ATHANASSIOU et al., 2018).

Diante do trabalho de Cardoso et al. (2017), o óleo essencial de manjeriço mostrou-se eficaz a favor da atividade antifúngica, pois inibiu a formação de ergosterol, pigmentação, atenuando o tamanho da cápsula de *Cryptococcus neoformans* em 16,94%, sabendo que a cápsula é o fator que destaca a característica de virulência e isso acaba alterando a suscetibilidade das drogas ao combate a esses microrganismos.

Diante do estudo de Waller et al. (2017) e Mohr et al. (2017), como o manjeriço faz parte da família das Lamiaceae, e essas plantas apresentam uma excelente atividade antifúngica em relação aos antifúngicos convencionais, dentre eles destacam-se: cetoconazol, fluconazol e anfoterecina. O óleo essencial de manjeriço sendo eficiente frente ao *A. fumigates* é de vital importância, visto que este fungo comumente conhecido nas lavouras por causar uma série de problemas às frutas e hortaliças, além de causar doença respiratória em humanos denominada aspergilose (AL-MASKRI et al., 2011).

Vale ressaltar que o mecanismo que estabelece a capacidade de ação do óleo essencial em relação às cepas estudadas está diretamente ligado a um dos metabólitos secundários muito comuns em relação aos (OE) que são os terpenos, como o limoneno, encontrados na composição da folha de manjeriço da folha miúda, garantindo a capacidade de ter efeitos tóxicos em relação à estrutura da membrana celular (MAIA et al., 2015). Pode-se levar em consideração que um mesmo óleo essencial pode atuar contra uma quantidade substancial de cepas distintas, porém a concentração inibitória torna-se variável.

De acordo com o trabalho de Medonça&Francielle (2018) para a variedade *O. basilicum* L, muito próxima das espécies estudadas por este ensaio, foi determinada uma quantidade de 62,5 mgL⁻¹, verificando que as variedades de manjeriço apresentam estabilidade e nanoemulsões eficiente quando se trata de aplicações de atividades antimicrobianas. Diante dos estudos obtidos por Cavalcanti et al. (2012), onde os autores determinaram atividade antifúngica positiva para extrato de manjeriço contra cepas de *Candida albicans* (ATCC289065), *C. tropicalis* (ATCC40042) e *C.krusei* (ATCC40147), o extrato de manjeriço apresenta sensibilidade considerável a esses microrganismos.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através do trabalho realizado, pode-se constatar que os metabólitos secundários presentes em *O. citriodorum* L mostraram-se relevantes, apresentando características favoráveis que podem causar ações biológicas significativas, afixando este produto para futuras atividades biológicas. A atividade fungicida de *O. citriodorum* L aplicado com a nanoemulsão, mostrou uma inibição verificada em concentrações muito baixas, identificando que o produto em estudo é adequado para aplicação de atividades antifúngicas.

AGRADECIMENTOS

Ao Laboratório de Pesquisa e Aplicação de Óleos Essenciais (LOEPAV/UFMA) e a Universidade Federal do Maranhão.

REFERÊNCIAS

- ALIGIANNIS, N. et al. Composition and antimicrobial activity of the essential oils of two Origanum species. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 49, n. 9, p. 4168-4170, 2001.
- AL-MASKRI, A. Y. et al. Essential oil from Ocimum basilicum (Omani basil): a desert crop. **Natural Product Communications**, v. 6, n. 10, p. 1487–1490, 2011.
- ATHANASSIOU, C. G. et al. Nanoparticles for pest control: current status and future perspectives. **Journal of Pest Science**, v. 91, n. 1, p. 1-15, 2018.
- CARDOSO, N. N. R. et al. Anti-cryptococcal activity of ethanol crude extract and hexane fraction from Ocimum basilicum var. Maria bonita: mechanisms of action and synergism with amphotericin B and Ocimum basilicum essential oil. **Pharmaceutical biology**, v. 55, n. 1, p. 1380-1388, 2017.
- CAVALCANTI, Y. W. et al. Atividade antifúngica de extratos vegetais brasileiros sobre cepas de Candida. **Rev. bras. ciênc. saúde**, p. 43-48, 2012.
- DORNELES, R. et al. Efeito alelopático de extratos de plantas medicinais e condimentares em meloeiro (Cucumis melo L.). **Ciência e Natura**, v. 37, n. 2, p. 212-217, 2015.
- HARBORNE, J. B. Methods of extraction and isolation. **Phytochemical methods**, v. 3, p. 60-66, 1998.
- KUBITSCHKE-KM, A. J.; ZERO, J. M. Development of jojoba oil (Simmondsia chinensis (Link) CK Schneid.) based nanoemulsions. **Lat. Am. J. Pharm**, v. 33, n. 3, p. 459-630, 2014.
- LARIBI, B. et al. Coriander (Coriandrum sativum L.) and its bioactive constituents. **Fitoterapia**, v. 103, p. 9–26, 2015.
- LIMA, G. C.; RABELO, A. S. DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA TRANSDÉRMICO PARA LIBERAÇÃO CONTROLADA DE (-)-LINALOL PARA ATIVIDADE ANTI-INFLAMATÓRIA. **Semana de Pesquisa da Universidade Tiradentes-SEMPESq**, n. 21, p. 1-2, 2019.
- MAIA, T.F. et al. Atividade antifúngica de óleos essenciais de plantas. Brazilian Magazine of AgroRevista **Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.17, n.1, p.105-116, 2015.
- MARTINS, A. G. L. A. et al. Atividade antibacteriana do óleo essencial do manjeriço frente a sorogrupos de Escherichia coli enteropatogênica isolados de alface. **Ciência Rural**, v. 40, n. 8, p. 1791-1796, 2010.

MATOS, A. Á. Producción de aloína en callos y hojas de brotes de zábila (*Aloe vera* L.) regenerados in vitro. **Bioagro**, v. 23, n. 2, p. 79-86, 2011.

MENDONÇA, F. P. T. **Atividade antimicrobiana de óleo essencial de manjeriço (*ocimum basilicum* L.) contra bactérias patogênicas e deterioradoras relacionadas a alimentos**, (Dissertação em Ciências Biológicas) – UFS. Sergipe, p. 38. 2018.

MODRO, A. F. H., MENEGUELLI, A. Z., RIBEIRO, S. B., MAIA, E. and LIMA-JÚNIOR, G. A. Importância do conhecimento tradicional de plantas medicinais para a conservação da Amazônia. **Cadernos de Agroecologia**, vol. 10, n.3, p. 1-5, 2015.

MOHR, F.; LERMEN, C.; GAZIM, Z.; GONÇALVES, J. A. O. Antifungal activity, yield, and composition of *Ocimum gratissimum* essential oil. **Genetics and Molecular Research**, v. 1, n. 16, p. 1-10, 2017.

RODRIGUES, E. C. et al. Development of a larvicidal nanoemulsion with Copaiba (*Copaifera duckei*) oleoresin. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 24, p. 699-705, 2014.

SANTOS, L. S. et al. **Estudo do potencial citotóxico do alcaloide aporfínico xilopina**. 2018, p.28-29. Tese de Doutorado. Instituto Gonçalo Moniz.

SHAFIQ, S. et al. Development and bioavailability assessment of ramipril nanoemulsion formulation. **European journal of pharmaceutics and biopharmaceutics**, v. 66, n. 2, p. 227-243, 2007.

SHAKERI, A., SAHEBKAR, A., JAVADI, B. *Melissa officinalis* L. – A review of its traditional uses, phytochemistry and pharmacology. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 188, p.204– 228, 2016.

SODAEIZADEH, H. et al. Herbicidal activity of a medicinal plant, *Peganum harmala* L., and decomposition dynamics of its phytotoxins in the soil. **Industrial Crops and Products**, v.31, n.2, p.385-394, 2010.

SOUZA, G. S. et al. Crescimento vegetativo e produção de óleo essencial de plantas de alecrim cultivadas sob telas coloridas. **Bioscience Journal**, n. 30, p.232-239, 2014.

SUGUMAR, S. et al. Nanoemulsion of eucalyptus oil and its larvicidal activity against *Culex quinquefasciatus*. **Bulletin of entomological research**, v. 104, n. 3, p. 393-402, 2014.

VARGAS, E. C. A.; TEIXEIRA, E. R.; WERNECK, Y. C. S.; ARANTES, D. G. The therapeutic use of plants by users of a public prehospital unit in Campos dos Goytacazes City, Rio de Janeiro State, Brazil. **Revista Online Pesquisa Cuidado é Fundamental**, v. 11, n. 5, p.1129–1134, 2019.

VIZZOTTO, M.; KROLOW, A. C. R.; WEBER, G. E. B. Metabólitos secundários encontrados em plantas e sua importância. **Embrapa Clima Temperado-Docmentos (INFOTECA-E)**, Pelotas, n.316,2010. p.7-15.

WALLER S. B.; CLEFF, M. B.; SERRA, E. F. et al. Plants from Lamiaceae family as source of antifungal molecules in humane and veterinary medicine. **Microbial Pathogenesis**, v. 104, p. 232-237, 2017.

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS MÉIS PRODUZIDOS E COMERCIALIZADOS NO ESTADO DE ALAGOAS, BRASIL

PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERIZATION OF HONEYS PRODUCED AND SOLD IN THE STATE OF ALAGOAS, BRAZIL

DOI: 10.51859/AMPLA.PCE2111-11

Clara Andrezza Crisóstomo Bezerra Costa ¹

João Victor Laurindo dos Santos ²

Aloísio Monteiro de Carvalho Júnior ¹

Jeniffer McLaine Duarte de Freitas¹

Orlando Francisco da Silva Moura¹

Alan John Duarte de Freitas¹

Johnnatan Duarte de Freitas¹

Jonas dos Santos Sousa¹

Demétrius Pereira Morilla¹

Luís Carlos Ferreira de Oliveira³

¹ Laboratório de Bromatologia, Área de Química, Instituto Federal de Alagoas – IFAL *Campus* Maceió.

² Graduando em Nutrição. Faculdade Estácio de Alagoas – Estácio FAL.

³ Docente de Química do Instituto Federal de Alagoas – IFAL *Campus* Marechal Deodoro.

RESUMO

O setor apícola vem ganhando destaque no Brasil, favorecendo aspectos socioeconômicos e ambientais. O mel é um produto com alto valor nutritivo, e considerado um alimento funcional e terapêutico. O Brasil é um grande produtor de mel, mas a apicultura ainda caminha devagar, principalmente, pela falta de incentivo e áreas inexploradas no país. Os méis possuem características específicas e dependendo da espécie da abelha, possui um preço mais caro em relação a outros méis. Por este motivo, é um produto fácil de sofrer adulteração. Sistemáticamente, apicultores e consumidores têm demonstrado grande preocupação com a qualidade de méis. Nesse sentido, foram realizadas análises físico-químicas em amostras de méis de abelha provenientes de 20 apiários de Alagoas. As análises visaram detectar possíveis fraudes e/ou adulterações de méis. Os procedimentos analíticos foram realizados de

acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, na instrução normativa Nº 11, de 20 de Outubro de 2000, sendo realizadas análises de potencial hidrogeniônico, hidroximetilfurfural, acidez, índice de formol, umidade, cinzas, sólidos solúveis, reação de *Lund*, reação de *Fiehe*, índice de amilase, açúcares redutores, açúcares redutores totais e cor. Logo, pode-se observar que os méis produzidos pelos 20 apiários alagoanos são de excelente qualidade frente aos aspectos físico-químicos, pois os resultados estão de acordo com a legislação em vigor. É essencial salientar e reforçar a importância da apicultura para sociedade, assim como, a qualidade dos produtos ofertados neste setor, tanto para níveis socioeconômicos, como também ecológicos.

Palavras-chave: Apicultura. Nordeste. Qualidade de méis.

ABSTRACT

The beekeeping sector has been gaining prominence in Brazil, favoring socioeconomic and environmental aspects. Honey is a product with high nutritional value and considered a functional and therapeutic food. Brazil is a great honey producer, but beekeeping is still slow, mainly due to the lack of incentive and unexplored areas in the country. The honeys have specific characteristics and, depending on the species of bee, are more expensive than other honeys. For this reason, it is an easy product to be adulterated. Systematically, beekeepers and consumers have shown great concern about the quality of honey. In this sense, physico-chemical analyses were performed on honey samples from 20 apiaries in Alagoas. The analyses aimed to detect possible frauds and/or adulteration of honeys. The

analytical procedures were performed according to the Ministry of Agriculture, Cattle and Supplying - MAPA, in Normative Instruction No. 11, from October 20, 2000, being performed analyses of potential of hydrogen, Hydroxymethylfurfural, acidity, formaldehyde index, humidity, ash, soluble solids, Lund reaction, Fiehe reaction, reducing sugars, total reducing sugars and color. Therefore, it can be observed that the honeys produced by the 20 apiaries in Alagoas are of excellent quality regarding the physical and chemical aspects, because the results are in accordance with the legislation in force. It is essential to emphasize and reinforce the importance of beekeeping for society, as well as the quality of the products offered in this sector, both for socioeconomic and ecological levels.

Keywords: Apiculture. Northeast. Honey quality.

1. INTRODUÇÃO

As abelhas originaram-se junto com o desenvolvimento das flores, há cerca de 100 milhões de anos. E esses dois grupos biológicos mantêm uma relação de simbiose através da polinização, um ato sexual das plantas, que permite a sobrevivência das abelhas, e a produção de frutos e sementes, mantendo a reprodução da vegetação nativa (BACAXIXI et al., 2011). As flores fornecem o pólen e o néctar para as abelhas, o pólen é a principal fonte de lipídeos, proteínas e vitaminas, e o néctar é transformado em mel, que fornece carboidratos e energia. Com isso, há uma dependência de sobrevivência entre as abelhas e as plantas (VILLAS BÔAS, 2012).

Segundo a legislação brasileira (BRASIL, 2000), mel é

[...] o produto alimentício produzido pelas abelhas melíferas, a partir do néctar das flores ou das secreções procedentes de partes vivas das plantas ou de excreções de insetos sugadores de plantas que ficam sobre partes vivas de plantas, que as abelhas recolhem, transformam, combinam com substâncias específicas próprias, armazenam e deixam madurar nos favos da colmeia [...]

A apicultura é uma atividade que vem ganhando incentivo no Brasil. Ela traz benefícios sociais, econômicos e ecológicos, com geração de renda para pequenos e médios produtores, e a manutenção e preservação do meio ambiente. Essa prática no país tem despertado interesse porque é uma atividade que se adapta bem ao clima e

não interfere em outras atividades. Com a melhoria no manejo de abelhas africanizadas (*Apis mellífera L.*), o mercado interno cresceu na procura de mel, assim como a busca por outros produtos: a própolis, a cera, a geleia real e o pólen (NEVES et al., 2015).

A produção de mel no Brasil é mais concentrada na região Sul com percentual de (49,61%), apresentando maior destaque no Estado do Rio Grande do Sul com (20,18%). Já a região Nordeste é a segunda maior com (22,90%), sendo o Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí, os Estados com mais contribuição para apicultura, respectivamente. O avanço nesse setor se deu a partir do ano de 2001, quando o país exportou mel para a União Europeia e os Estados Unidos, permitindo assim, o reconhecimento internacional, e deixando de comercializar e ser somente conhecido no mercado interno (MOURA et al., 2014).

Na região Nordeste, a apicultura é umas das atividades que mais tem ganhado destaque em crescimento nos últimos anos, podendo ser uma alternativa para trabalhadores rurais ou como uma segunda opção de renda, pois o potencial para exploração apícola é vasto e as abelhas se adaptam bem a esta região, trazendo melhorias nos níveis socioeconômicos e ambientais (SILVA, 2003).

O objetivo do trabalho foi estudar a caracterização físico-química dos méis produzidos e comercializados no Estado de Alagoas, Brasil.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A apicultura de Alagoas é recente e caracteriza-se pela produção, como atividade secundária através de pequenos apiários fixos, baixo manejo dos enxames, desconhecimento da flora apícola, falta de implementação das práticas de controle de qualidade do produto e cooperativismo incipiente. A distância entre o potencial produtivo e a produção do Estado é um fato perfeitamente visível. Mas a produção em Alagoas apresenta potencial significativo e traz vários benefícios, tais como: o aumento da polinização, o avanço na agricultura, a geração de renda para produtores e trabalhadores rurais e fornecedores de insumos, além do favorecimento ao meio ambiente através da recuperação de áreas degradadas por erosão, queimadas e desmatamentos (IBGE, 2013).

De acordo com dados do governo de Alagoas divulgados no APL – Arranjo Produtivo Local, apicultura do sertão em 1994, colocou o Brasil na 16ª posição em exportações de mel. Com o crescimento de 4.700% em volume e 7.000% em valor, nos anos de 2000 a 2002 passou a ocupar a 4ª posição, tendo produzido 36 mil toneladas de mel. O Brasil explora apenas 15% da flora apícola. Portanto, tem-se um potencial inexplorado superior a 200 mil toneladas/ano. Consome-se no país 200 g de mel/habitante/ano. E o consumo de açúcar situa-se entre 20 e 25 kg/pessoa/ano. Já na Alemanha, o consome é de 2,4 kg de mel/habitante/ano, ou seja, 12 vezes mais, que no Brasil. O mel brasileiro apresenta alta qualidade, e a maior parte dos produtores possuem em média menos de 100 colméias, e estão ligados a associações ou cooperativas apícolas (SEBRAE, 2015).

Com as exportações, o Brasil começou a se preocupar com a qualidade do produto ofertado, desde o processamento até o consumo final, adotando Boas Práticas Apícolas (BPA), como também realizando o controle físico-químico dos méis produzidos no país, pois há diferenças entre méis de abelhas *Apis* e abelhas sem ferrão (ASF). Por isso é importante realizar análises físico-químicas, para manter os parâmetros de identidade e de qualidade desses méis (MOURA et al., 2014).

Esses méis diferem, principalmente, no aroma, no sabor, e em quantidade de produção, colocando o preço de méis de ASF mais elevados em relação a méis da espécie *Apis*. Os méis de ASF possui maior umidade (21-45%), e consequentemente, maior atividade de água (Aa), além de ter um pH mais ácido. Já os méis de abelhas *Apis* tem a umidade ideal (15-20%), atividade de água inferior a (0,60 Aa), e um pH mais elevado, sendo mais estável microbiologicamente, além de ter maior produção em relação aos méis de ASF (CAMARGO; OLIVEIRA; BERTO, 2017).

Com a busca cada vez mais crescente por alimentos naturais, o mel é um produto que ganhou destaque mundial, como alimento funcional e terapêutico, com alto valor nutritivo, já que é rico em glicose, frutose, aminoácidos, enzimas, sacarose, proteínas, ácidos orgânicos, substâncias minerais, pólen, entre outros (NEVES et al., 2015).

No entanto, é um produto fácil de sofrer adulterações e alterações. A adulteração pode ser feita com a adição de adoçantes artificiais, soluções açucaradas e técnicas refinadas, que impossibilitam a detecção de fraude, adicionando monossacarídeos com percentuais próximos de 50%. As alterações podem ocorrer pela

fermentação de méis com elevada umidade, ocasionando a desvalorização comercial. Para evitar, deve-se realizar a pasteurização a temperatura inferior a 71°C e o armazenamento em recipientes herméticos. Também podem ocorrer alterações por centrifugação e armazenamento incorreto (GOIS et al., 2013).

A qualidade do produto é um aspecto importante para o produtor e para o consumidor. E através de determinações analíticas, pode-se conhecer a composição físico-química do alimento, e assim, conhecer características positivas e negativas, para avaliar se o produto está apto ou não para comercialização (GOIS et al., 2013).

O controle da qualidade e conservação dos méis é realizado através de análises físico-químicas, como: pH, acidez titulável, índice de formol, prova de *Lund*, açúcares redutores, umidade, peso específico, cinzas e hidroximetilfurfural (HMF) (FINCO; MOURA; SILVA, 2010).

Outro aspecto importante, que deve ser analisado são as etapas de beneficiamento, embalagens e armazenamento do produto. O controle das condições higiênicas sanitárias é primordial, assim como, as etapas de beneficiamento devem ser seguidas a vinco, principalmente, para manter as qualidades físico-químicas e sensoriais dos méis. Na etapa de envasamento não pode haver a formação de bolhas dentro do recipiente final e a tampa deve isolar hermeticamente a área interna do contato com a área externa, evitando assim qualquer tipo de contaminação. O armazenamento deve ser feito em temperatura que não interfira nos atributos do produto (GOIS et al., 2013).

É importante produzir e comercializar méis com segurança, e um dos problemas de maior preocupação neste setor é a produção de hidroximetilfurfural, quando o produtor é exposto a tempo prolongado a temperatura superior a 35 °C, podendo representar risco tóxico ao consumidor. Além disso, pode haver presença de alguma substância tóxica proveniente de espécies vegetais que as abelhas visitam. O controle de qualidade é extremamente importante para comercialização (FINCO; MOURA; SILVA, 2010).

3. METODOLOGIA

O estudo foi realizado com 20 apiários do Estado de Alagoas. As amostras foram coletadas diretamente dos apiários, e em seguida conduzidas ao Laboratório de

Bioprocesso da Coordenadoria de Química do Instituto Federal de Alagoas *Campus* Maceió para as análises físico-químicas. As amostras foram de méis produzidos pela espécie *Apis*.

Os experimentos foram realizados em triplicatas para cada análise executada. As amostras foram submetidas às análises de acordo com Instituto Adolfo Lutz (2008), de potencial hidrogeniônico (pH), hidroximetilfurfural (HMF), acidez, índice de formol, umidade, cinzas, sólidos solúveis (SS), reação de *Lund*, reação de *Fiehe*, índice de amilase, açúcares redutores (AR), açúcares redutores totais (ART) e cor. Os procedimentos analíticos foram realizados tendo como parâmetro o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, na instrução normativa Nº 11, de 20 de outubro de 2000 (BRASIL, 2000).

Os resultados das análises físico-químicas foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias foram comparadas pelo teste de *Tukey* com 5% de probabilidade para verificação de diferença significativa entre os experimentos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das análises dos parâmetros físico-químicos dos méis produzidos e comercializados no Estado de Alagoas mostraram que os apicultores alagoanos seguiram o Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do Mel, já que todas as amostras se encontraram dentro dos padrões estabelecidos pela legislação em vigor (BRASIL, 2000). Além disso, obedeceram a todos os preceitos em relação às Boas Práticas Apícolas, conforme pode ser observado nas Tabelas 1 – 10.

Tabela 1: Resultados da análise de acidez.

| Experimento | Média e desvio padrão |
|-------------|------------------------------|
| 1 | 49,17 ^{abc} ± 0,90 |
| 2 | 47,67 ^{hij} ± 0,90 |
| 3 | 46,80 ^l ± 0,90 |
| 4 | 48,03 ^{efgh} ± 0,90 |
| 5 | 47,87 ^{ghij} ± 0,90 |
| 6 | 48,50 ^{def} ± 0,90 |
| 7 | 49,13 ^{abc} ± 0,90 |
| 8 | 48,30 ^{defg} ± 0,90 |
| 9 | 47,93 ^{fghi} ± 0,90 |
| 10 | 49,73 ^a ± 0,90 |
| 11 | 46,87 ^l ± 0,90 |
| 12 | 47,30 ^{jl} ± 0,90 |

| Experimento | Média e desvio padrão |
|-------------|--|
| 13 | 48,50 ^{d^{ef}} ± 0,90 |
| 14 | 49,40 ^a ± 0,90 |
| 15 | 47,70 ^{ghij} ± 0,90 |
| 16 | 48,57 ^{cde} ± 0,90 |
| 17 | 49,27 ^{ab} ± 0,90 |
| 18 | 48,77 ^{bcd} ± 0,90 |
| 19 | 47,33 ^{ijl} ± 0,90 |
| 20 | 49,67 ^a ± 0,90 |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de *Tukey*.

Fonte: COSTA et al., 2022.

A acidez máxima permitida pela legislação em vigor é de (50 mEq.kg⁻¹) (BRASIL, 2000). Os resultados mostraram que 100% das amostras atendem e estão abaixo do limite máximo. Valores semelhantes de acidez foram encontrados no trabalho de “Análise de agrupamento, com base na composição físico-química, de amostras de méis produzidos por *Apis mellifera* L. no Estado de São Paulo” (MARCHINI et al., 2005).

Tabela 2: Resultados da análise de pH.

| Experimento | Média e desvio padrão |
|-------------|----------------------------|
| 1 | 3,53 ^{def} ± 0,31 |
| 2 | 4,07 ^b ± 0,31 |
| 3 | 3,27 ^f ± 0,31 |
| 4 | 3,83 ^{bc} ± 0,31 |
| 5 | 3,80 ^{bcd} ± 0,31 |
| 6 | 3,97 ^b ± 0,31 |
| 7 | 3,43 ^{ef} ± 0,31 |
| 8 | 3,53 ^{def} ± 0,31 |
| 9 | 3,50 ^{ef} ± 0,31 |
| 10 | 3,30 ^f ± 0,31 |
| 11 | 3,83 ^{bc} ± 0,31 |
| 12 | 3,93 ^b ± 0,31 |
| 13 | 3,43 ^{ef} ± 0,31 |
| 14 | 3,47 ^{ef} ± 0,31 |
| 15 | 3,50 ^{ef} ± 0,31 |
| 16 | 3,27 ^f ± 0,31 |
| 17 | 3,90 ^b ± 0,31 |
| 18 | 4,43 ^a ± 0,31 |
| 19 | 3,60 ^{cde} ± 0,31 |
| 20 | 3,37 ^{ef} ± 0,31 |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de *Tukey*.

Fonte: COSTA et al., 2022.

A legislação em vigor não exige a análise para o potencial hidrogeniônico (pH). As amostras demonstraram estar na faixa entre (3,3 a 4,4). Foram encontrados

resultados semelhantes no trabalho, “Estudo comparativo do mel de *Apis mellifera* com méis de Meliponíneos (LIRA et al., 2014). E em outro estudo, também foram encontrados valores semelhantes para pH, no trabalho intitulado “Qualidade do mel de *Apis mellifera* L. relacionadas às boas práticas apícolas” (MOURA et al., 2014). Com esses dados pode-se afirmar que ocorreu o manuseio adequado nos apiários, e que a florada não influenciou o pH do mel. O pH influencia na textura, na estabilidade e na vida de prateleira do mel, visto que valores alterados de pH podem indicar fermentação ou adulteração do mel de abelhas (TERRAB et al., 2004).

Tabela 3: Resultados da análise de umidade.

| Experimento | Média e desvio padrão |
|-------------|--|
| 1 | 17,73 ^h ± 0,84 |
| 2 | 19,27 ^{cd} ± 0,84 |
| 3 | 18,90 ^{de} ± 0,84 |
| 4 | 17,73 ^h ± 0,84 |
| 5 | 19,80 ^{ab} ± 0,84 |
| 6 | 19,27 ^{cd} ± 0,84 |
| 7 | 18,40 ^f ± 0,84 |
| 8 | 19,43 ^{bc} ± 0,84 |
| 9 | 19,90 ^a ± 0,84 |
| 10 | 18,30 ^f ± 0,84 |
| 11 | 19,57 ^{a^{bc}} ± 0,84 |
| 12 | 18,30 ^f ± 0,84 |
| 13 | 17,80 ^{gh} ± 0,84 |
| 14 | 18,23 ^{fg} ± 0,84 |
| 15 | 17,43 ^h ± 0,84 |
| 16 | 19,67 ^{abc} ± 0,84 |
| 17 | 18,60 ^{ef} ± 0,84 |
| 18 | 17,80 ^{gh} ± 0,84 |
| 19 | 19,90 ^a ± 0,84 |
| 20 | 19,77 ^{ab} ± 0,84 |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: COSTA et al., 2022.

Em relação ao percentual de umidade, nenhuma das amostras apresentou valores superiores a (20%), indicando que a colheita do mel foi realizada em dias seco e que o local dos apiários não apresentava umidade, que comprometesse a qualidade do mel (BRASIL, 2000). Além de fornecer a informação, que os méis coletados para estudo são de abelhas da espécie *Apis* devido à faixa de umidade encontrada, pois estudos que apresentam umidade elevada são de espécies de abelhas sem ferrão, como no de “Caracterização microbiológica, físico-química e microscópica de mel de abelhas canudo

(*Scaptotrigona depilis*) e jataí (*Tetragonisca angustula*)” obtendo valores de umidade superiores a (25%) (OLIVEIRA; RIBEIRO; OLIVEIRA, 2013).

Tabela 4: Resultados da análise de Índice de formol.

| Experimento | Média e desvio padrão |
|-------------|---------------------------------|
| 1 | 9,93 ^{ef} \pm 1,73 |
| 2 | 8,10 ^j \pm 1,73 |
| 3 | 9,77 ^{efgh} \pm 1,73 |
| 4 | 12,07 ^c \pm 1,73 |
| 5 | 13,50 ^{ab} \pm 1,73 |
| 6 | 10,90 ^d \pm 1,73 |
| 7 | 9,27 ^{hi} \pm 1,73 |
| 8 | 7,57 ⁱ \pm 1,73 |
| 9 | 9,93 ^{ef} \pm 1,73 |
| 10 | 13,17 ^b \pm 1,73 |
| 11 | 9,63 ^{fgh} \pm 1,73 |
| 12 | 8,87 ⁱ \pm 1,73 |
| 13 | 9,27 ^{hi} \pm 1,73 |
| 14 | 14,00 ^a \pm 1,73 |
| 15 | 11,23 ^d \pm 1,73 |
| 16 | 9,33 ^{ghi} \pm 1,73 |
| 17 | 10,20 ^e \pm 1,73 |
| 18 | 9,833 ^{efg} \pm 1,73 |
| 19 | 12,10 ^c \pm 1,73 |
| 20 | 11,20 ^d \pm 1,73 |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: COSTA et al., 2022.

Os índices de formol nas amostras analisadas variaram de (7,9 a 14 mL.kg⁻¹). Este índice não consta das características de avaliação da qualidade do mel pela legislação em vigor (BRASIL, 2000). Porém, constitui um parâmetro muito importante no mel por representar uma medida global dos compostos aminados, o que permite avaliar o conteúdo de proteínas e aminoácidos. Em geral, a maior importância dos aminoácidos é que eles podem fornecer caracteres que distinguem os tipos de méis entre si e de méis falsificados (CRANE, 1985; FRÍAS & HARDISSON, 1992). No estudo sobre “Propriedades físicas e químicas do mel de *Apis mellifera L.*” foram encontrados resultados próximos a este estudo, o valor médio do índice de formol foi de (7,6 mL.kg⁻¹) (FINCO; MOURA; SILVA, 2010).

Tabela 5: Resultados da análise de hidroximetilfurfural - HMF.

| Experimento | Média e desvio padrão |
|-------------|----------------------------|
| 1 | 2,77 ^{ef} ± 1,46 |
| 2 | 1,90 ^{hi} ± 1,46 |
| 3 | 4,23 ^c ± 1,46 |
| 4 | 3,53 ^d ± 1,46 |
| 5 | 2,27 ^{gh} ± 1,46 |
| 6 | 5,30 ^b ± 1,46 |
| 7 | 2,53 ^{fg} ± 1,46 |
| 8 | 5,43 ^b ± 1,46 |
| 9 | 3,67 ^d ± 1,46 |
| 10 | 6,73 ^a ± 1,46 |
| 11 | 4,17 ^c ± 1,46 |
| 12 | 1,60 ⁱ ± 1,46 |
| 13 | 3,33 ^d ± 1,46 |
| 14 | 6,27 ^a ± 1,46 |
| 15 | 2,30 ^{fgh} ± 1,46 |
| 16 | 3,20 ^{de} ± 1,46 |
| 17 | 2,67 ^{fg} ± 1,46 |
| 18 | 1,60 ⁱ ± 1,46 |
| 19 | 3,57 ^d ± 1,46 |
| 20 | 4,30 ^c ± 1,46 |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: COSTA et al., 2022.

As análises realizadas para a detecção do teor de hidroximetilfurfural (HMF) detectaram que todas as amostras analisadas não apresentaram valores acima de (60 mg.kg⁻¹), indicando que não houve adulteração dos produtos com açúcar comercial ou aquecimento incorreto. Esses resultados são semelhantes ao encontrado no estudo sobre “Caracterização físico-química de méis de *Apis mellifera* L. da região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul” (WELKE et al., 2008). Uma pequena quantidade de HMF foi encontrada em méis recém-colhidos no “O livro do mel”, obra que ganhou o prêmio Nobel (CRANES, 1985). Esta substância é formada pela reação de certos açúcares com ácidos, sendo a frutose considerada a principal formadora do composto, devido à ação de ácidos e do calor. Além disso, o conteúdo de HMF no mel também pode ser afetado pela acidez, pH, conteúdo de água e minerais (WHITE JUNIOR, 1979).

Tabela 6: Resultados da análise de cinzas.

| Experimento | Média e desvio padrão |
|-------------|------------------------------|
| 1 | 0,31 ^{bcd} ± 0,07 |
| 2 | 0,37 ^{ab} ± 0,07 |
| 3 | 0,35 ^{abc} ± 0,07 |
| 4 | 0,27 ^{cdef} ± 0,07 |
| 5 | 0,31 ^{bcd} ± 0,07 |
| 6 | 0,27 ^{cdef} ± 0,07 |
| 7 | 0,22 ^{defg} ± 0,07 |
| 8 | 0,36 ^{abc} ± 0,07 |
| 9 | 0,24 ^{defg} ± 0,07 |
| 10 | 0,33 ^{abc} ± 0,07 |
| 11 | 0,28 ^{bcdef} ± 0,07 |
| 12 | 0,34 ^{abc} ± 0,07 |
| 13 | 0,41 ^a ± 0,07 |
| 14 | 0,28 ^{bcdef} ± 0,07 |
| 15 | 0,19 ^{fg} ± 0,07 |
| 16 | 0,21 ^{efg} ± 0,07 |
| 17 | 0,22 ^{defg} ± 0,07 |
| 18 | 0,16 ^g ± 0,07 |
| 19 | 0,30 ^{bcde} ± 0,07 |
| 20 | 0,17 ^g ± 0,07 |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: COSTA et al., 2022.

As determinações do teor de cinzas detectadas nas amostras foram de (0,16% – 0,41%), não ultrapassaram o valor máximo tolerado pela legislação vigente, que é de (0,60%). Portanto, comprova-se a riqueza dos méis em minerais, em 100% das amostras (BRASIL, 2000).

Tabela 7: Resultados da análise de Sólidos solúveis.

| Experimento | Média e desvio padrão |
|-------------|----------------------------|
| 1 | 0,03 ^{def} ± 0,02 |
| 2 | 0,05 ^{bcd} ± 0,02 |
| 3 | 0,01 ^f ± 0,02 |
| 4 | 0,07 ^{ab} ± 0,02 |
| 5 | 0,017 ^f ± 0,02 |
| 6 | 0,05 ^{bcd} ± 0,02 |
| 7 | 0,09 ^a ± 0,02 |
| 8 | 0,03 ^{def} ± 0,02 |
| 9 | 0,03 ^{def} ± 0,02 |
| 10 | 0,02 ^f ± 0,02 |
| 11 | 0,04 ^{cde} ± 0,02 |
| 12 | 0,03 ^{def} ± 0,02 |
| 13 | 0,02 ^{ef} ± 0,02 |
| 14 | 0,09 ^a ± 0,02 |
| 15 | 0,05 ^{bcd} ± 0,02 |

| Experimento | Média e desvio padrão |
|-------------|----------------------------|
| 16 | 0,04 ^{cde} ± 0,02 |
| 17 | 0,03 ^{def} ± 0,02 |
| 18 | 0,05 ^{bcd} ± 0,02 |
| 19 | 0,04 ^{cde} ± 0,02 |
| 20 | 0,07 ^{abc} ± 0,02 |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de *Tukey*.

Fonte: COSTA et al., 2022.

As análises realizadas para a determinação de sólidos insolúveis nas amostras foram satisfatórias, pois apresentaram resultados de até (0,09%). A legislação estabelece o limite máximo de (0,1%) (BRASIL, 2000). Valores semelhantes foram encontrados no trabalho “Qualidade do mel de *Apis mellifera* L. relacionadas às boas práticas apícolas” (MOURA et al., 2014).

Os valores para reação de *Lund* em 100% das amostras apresentaram resultados positivos, ou seja, houve em todas as amostras analisadas a formação de precipitados pela adição do ácido tânico. Na reação de *Fiehe* em 100% das amostras apresentaram resultados negativos. Para atender a comercialização e garantir a qualidade do mel é importante realizar estas reações. A reação de Lugol identifica a presença de amido e dextrinas no mel, a reação de *Fiehe* indica a presença de substâncias produzidas durante o superaquecimento do mel ou adição de xaropes de açúcar e a reação de *Lund* para indicar a presença de albuminoides, sendo que sua ausência indica fraude (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Tabela 8: Resultados da análise de Índice de amilase.

| Experimento | Média e desvio padrão |
|-------------|----------------------------|
| 1 | 15,13 ^j ± 3,11 |
| 2 | 13,87 ^l ± 3,11 |
| 3 | 17,23 ⁱ ± 3,11 |
| 4 | 18,90 ^g ± 3,11 |
| 5 | 21,57 ^e ± 3,11 |
| 6 | 16,67 ⁱ ± 3,11 |
| 7 | 23,53 ^c ± 3,11 |
| 8 | 25,10 ^a ± 3,11 |
| 9 | 19,60 ^f ± 3,11 |
| 10 | 22,37 ^d ± 3,11 |
| 11 | 18,67 ^{gh} ± 3,11 |
| 12 | 22,20 ^{de} ± 3,11 |
| 13 | 23,63 ^{bc} ± 3,11 |
| 14 | 18,40 ^{gh} ± 3,11 |
| 15 | 17,23 ⁱ ± 3,11 |

| Experimento | Média e desvio padrão |
|-------------|---------------------------|
| 16 | 18,20 ^h ± 3,11 |
| 17 | 24,20 ^b ± 3,11 |
| 18 | 19,57 ^f ± 3,11 |
| 19 | 21,67 ^e ± 3,11 |
| 20 | 22,70 ^d ± 3,11 |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de *Tukey*.

Fonte: COSTA et al., 2022.

A determinação do índice de amilase nas amostras apresentaram valores entre (13,9 e 25,2). A diástase é uma das enzimas do mel, que tem a função de digerir a molécula de amido. Essa enzima é muito sensível ao calor, podendo assim indicar o grau de conservação e superaquecimento do produto (WHITE JUNIOR, 1992). A ausência da mesma reflete procedimentos e/ou adulterações realizadas no mel, tal como uso de temperatura acima de 60°C durante o beneficiamento, adição de açúcar invertido, condições de armazenamento inadequadas (tempo acima de seis meses e temperaturas elevadas). A atividade diastásica diminui devido à desnaturação parcial ou total das amilases (AROUCHA et al., 2008). A legislação brasileira permite atividade diastásica como mínimo de 8 na Escala *Gothe*. Os méis com baixo conteúdo enzimático devem ter como mínimo desta atividade, correspondente a 3 na Escala *Gothe*, sempre que o conteúdo de HMF não exceda a (15 mg.kg⁻¹) (BRASIL, 2000).

Tabela 9: Resultados da análise de açúcares redutores.

| Experimento | Média e desvio padrão |
|-------------|---------------------------|
| 1 | 67,23 ^f ± 0,71 |
| 2 | 68,27 ^d ± 0,71 |
| 3 | 67,93 ^e ± 0,71 |
| 4 | 68,27 ^d ± 0,71 |
| 5 | 67,33 ^f ± 0,71 |
| 6 | 67,90 ^e ± 0,71 |
| 7 | 68,30 ^d ± 0,71 |
| 8 | 67,27 ^f ± 0,71 |
| 9 | 68,23 ^d ± 0,71 |
| 10 | 67,23 ^f ± 0,71 |
| 11 | 67,63 ^f ± 0,71 |
| 12 | 67,60 ^f ± 0,71 |
| 13 | 68,27 ^d ± 0,71 |
| 14 | 69,27 ^b ± 0,71 |
| 15 | 69,63 ^a ± 0,71 |
| 16 | 68,80 ^c ± 0,71 |
| 17 | 67,43 ^f ± 0,71 |
| 18 | 69,20 ^b ± 0,71 |

| Experimento | Média e desvio padrão |
|-------------|---------------------------|
| 19 | 67,83 ^e ± 0,71 |
| 20 | 67,83 ^e ± 0,71 |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: COSTA et al., 2022.

Tabela 10: Resultados da análise de açúcares redutores totais.

| Experimento | Média e desvio padrão |
|-------------|------------------------------|
| 1 | 68,03 ⁱ ± 0,87 |
| 2 | 68,30 ^{hi} ± 0,87 |
| 3 | 69,20 ^{def} ± 0,87 |
| 4 | 70,37 ^{ab} ± 0,87 |
| 5 | 70,40 ^{ab} ± 0,87 |
| 6 | 69,13 ^{defg} ± 0,87 |
| 7 | 68,47 ^{ghi} ± 0,87 |
| 8 | 69,77 ^{bcd} ± 0,87 |
| 9 | 70,57 ^a ± 0,87 |
| 10 | 70,17 ^{abc} ± 0,87 |
| 11 | 68,30 ^{hi} ± 0,87 |
| 12 | 69,37 ^{def} ± 0,87 |
| 13 | 70,50 ^a ± 0,87 |
| 14 | 70,47 ^{ab} ± 0,87 |
| 15 | 68,83 ^{efgh} ± 0,87 |
| 16 | 69,53 ^{cde} ± 0,87 |
| 17 | 68,67 ^{fghi} ± 0,87 |
| 18 | 68,23 ^{hi} ± 0,87 |
| 19 | 69,27 ^{def} ± 0,87 |
| 20 | 68,67 ^{fghi} ± 0,87 |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: COSTA et al., 2022.

As determinações de açúcares redutores (AR) foram encontradas valores de (67 – 69,6%) e para açúcares redutores totais (ART) (68 – 70,5%) nas amostras analisadas, apresentando resultados satisfatórios de acordo com a legislação vigente. Ela é elaborada a partir de méis de *Apis melífera*, estabelecendo um valor mínimo de (65%) para açúcares redutores e máximo de (6%) para sacarose aparente (BRASIL, 2000). Enquanto, os valores sugeridos para mel de abelhas sem ferrão no Brasil são de mínimo de (50%) para açúcares redutores e máximo de (6%) para sacarose aparente (VILLAS-BÔAS & MALASPINA, 2005). Foram encontrados valores divergentes no trabalho “Estudo comparativo do mel de *Apis mellifera* com méis de Meliponíneos”, os resultados nesse estudo apresentaram dados inferiores de 63,45% de açúcares redutores (LIRA et al., 2014). Já em outro trabalho, “Propriedades físicas e químicas do mel de *Apis*

mellifera L.” foram encontrados resultados semelhantes de 68,94% para açúcares redutores (FINCO; MOURA; SILVA, 2010).

As amostras de méis apresentaram tonalidades entre âmbar claro e âmbar. A cor do mel está associada à sua origem floral, porém as substâncias responsáveis pela cor são ainda desconhecidas (PAMPLONA, 1989). Acredita-se que minerais estejam entre os fatores responsáveis. Entretanto, o armazenamento prolongado, a luz, possíveis reações enzimáticas, aquecimento e o processo de colheita podem escurecer o mel (CRANE, 1985).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, pode-se observar que os méis produzidos pelos 20 apiários alagoanos são de excelente qualidade frente aos aspectos físico-químicos, pois os resultados estão de acordo com a legislação em vigor.

É essencial salientar e reforçar a importância da apicultura para sociedade, assim como, a qualidade dos produtos ofertados neste setor, tanto para níveis socioeconômicos, como também ecológicos.

REFERÊNCIAS

- AROUCHA E. M. M; OLIVEIRA A. J. F; NUNES, G. H. S; MARACAJÁ P. B; Qualidade do mel de abelha produzido pelos Incubados da lagam e comercializado no Município Mossoró/RN. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.21, n.1, p. 211-217, 2008.
- BACAXIXI, P; BUENO, C.E.M.S; RICARDO, H.A; EPIPHANIO, P.D; SILVA, D.P; BARROS, B.M.C; SILVA, T.F; BOSQUÊ, G.G; LIMA, F.C.C. A IMPORTÂNCIA DA APICULTURA NO BRASIL. **Rev. Científica eletrônica de agronomia**, São Paulo, n.20, p. 1-6, dez., 2011.
- BRASIL, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **REGULAMENTO TÉCNICO DE IDENTIDADE E QUALIDADE DO MEL**. Instrução Normativa Nº 11, de 20 de Outubro de 2000.
- CAMARGO, R. C. R. de; OLIVEIRA, K. L. de; BERTO, M. I. Mel de abelhas sem ferrão: proposta de regulamentação. **Braz. J. Food Technol.**, Campinas, v. 20, out./nov, 2017.
- CRANE, E. O livro do mel. **2ª edição**. São Paulo: Nobel, 226 p, 1985.

- FRÁS, I; HERDISSON, A. Studio de los parâmetros analíticos de interes em la miel. II: Azúcares, cenizas y contenido mineral y color. **Alimentaria**, v.28, n.235, p.41-43, 1992.
- FINCO, F. D. B. A; MOURA, L. L; SILVA, I. G. Propriedades físicas e químicas do mel de *Apis mellifera* L. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v.30, n.3, 706-712, jul.-set. 2010.
- GOIS, G. C; LIMA, C. A. B. de; SILVA, L. T. da; RODRIGUES, A. E. Composição do mel de *Apis mellifera*: requisitos de qualidade. **Revista Acta Veterinaria Brasilica**, Paraíba, v.7, n.2, p.137-147, 2013.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística: **Produção da Pecuária Municipal**, Rio de Janeiro, v.41, p.1-108, 2013.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. **4ª Edição**. Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.
- LIRA, A. F; SOUSA, J. P. L. DE M; LORENZON, M. C. A; VIANNA, C. A. F. J; CASTRO, R. N. Estudo comparativo do mel de *Apis mellifera* com méis de Meliponíneos. **Rev. Acta Veterinaria Brasilica**, Rio de Janeiro, v.8, n.3, p.169-178, 2014.
- MARCHINI, L. C.; MORETI, A. C. C. C.; OTSUK, I. P. Análise de agrupamento, com base na composição físico-química, de amostras de méis produzidos por *Apis mellifera* L. no Estado de São Paulo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v.25, n.1, 2005.
- MOURA, S. G de; MURATORI, M. C. S; MONTE, A. M; CARNEIRO, R. M; SOUZA, D. C; MOURA, J. Z. de. Qualidade do mel de *Apis mellifera* L. relacionadas às boas práticas apícolas. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v.15, n.3, p.731-739 jul./set., 2014.
- NEVES, A. P. M; ALMEIDA, A. M. B. de; MACHADO, A. V; COSTA, R.de O. Análise Físico-química e Microbiológica do Mel de Abelha. **Revista Brasileira de Agrotecnologia**, Garanhuns, v.5,n.1,p. 14-18, Jan-Dez, 2015.
- OLIVEIRA, K. A. de M; RIBEIRO, L. S; OLIVEIRA, G. V. de. Caracterização microbiológica, físico-química e microscópica de mel de abelhas canudo (*Scaptotrigona depilis*) e jataí (*Tetragonisca angustula*). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.15, n.3, p.239-247, 2013.
- PAMPLONA, B. C. **Exame dos elementos químicos inorgânicos encontrados em méis brasileiros de *Apis mellifera* e suas relações físico-biológicas**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Biologia, Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, 131 p., 1989.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas: **ARRANJO PRODUTIVO LOCAL (APL) – Apicultura do sertão (versão preliminar)**: Programa de mobilização para o desenvolvimento dos arranjos e territórios produtivos locais do estado de Alagoas. Governo do Estado de Alagoas: in <http://www.desenvolvimento.gov.br>. Acesso em julho de 2015.

SILVA, P. A. M. Qualidade dos Produtos da Abelha. **VII Seminário Nordestino Pecuário – PEC**, Nordeste, 2003.

TERRAB, A; RECAMALES, A. F; HERNANZ, D; HEREDIA, F. J. Characterization of Spanish thyme honeys by their physicochemical characteristics and mineral contents. **Food Chemistry**, London, v.88, n.4, p.537-542, 2004.

VILLAS-BÔAS, J. Manual Tecnológico. Mel de Abelhas sem Ferrão. **1ª Edição**. Brasília, DF. Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPN), 2012.

VILLAS-BOAS, J. K; MALASPINA, O. Parâmetros físico-químicos propostos para controle de qualidade do mel de abelhas indígenas sem ferrão no Brasil. **Mensagem Doce**, n. 82, p. 6-16, 2005.

WELKE, J. E; REGINATTO, S; FERREIRA, D; VICENZI, R; SOARES, J. M. Caracterização físico-química de méis de *Apis mellifera L.* da região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. **Ciência Rural**, Santa Maria v.38, n.6, p.1737-1741, 2008.

WHITE JUNIOR, J. W. Methods for determining carbohydrates, hydroxymetilfurfural and proline in honey; collaborative study. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**, v.62, n.3, p. 515-526, 1979.

WHITE JUNIOR, J. W. Quality evaluation of honey: role of HMF and diastase assays. **American Bee Journal**, v.132, n.12, p. 792-794, 1992.

ESTUDO BROMATOLÓGICO E HIDRÓLISE ÁCIDA DA BATATA-DOCE (*IPOMOEA BATATAS*) PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL DE SEGUNDA GERAÇÃO

BROMATOLOGICAL STUDY AND ACID HYDROLYSIS OF SWEET POTATOES (*IPOMOEA BATATAS*) FOR SECOND GENERATION BIOFUELS PRODUCTION

DOI: 10.51859/AMPLA.PCE2111-12

Clara Andrezza Crisóstomo Bezerra Costa¹

João Victor Laurindo dos Santos²

Orlando Francisco da Silva Moura¹

Aloísio Monteiro de Carvalho Júnior¹

Jeniffer McLaine Duarte de Freitas¹

Alan John Duarte de Freitas¹

Johnnatan Duarte de Freitas¹

Demétrius Pereira Morilla¹

Luís Carlos Ferreira de Oliveira³

Jonas dos Santos Sousa¹

¹ Laboratório de Bromatologia, Área de Química, Instituto Federal de Alagoas - IFAL *Campus* Maceió.

² Graduando em Nutrição pela Faculdade Estácio de Alagoas.

³ Docente de Química do Instituto Federal de Alagoas – IFAL *Campus* Marechal Deodoro.

RESUMO

Na produção do etanol, o Brasil, destaca-se como o maior exportador e o segundo maior produtor mundial, ficando atrás dos Estados Unidos. Os biocombustíveis são divididos como de 1ª Geração (1G), 2ª Geração (2G) e 3ª Geração (3G). Eles são biodegradáveis. A batata-doce, conhecida popularmente, possui nome científico de *Ipomoea batatas*. Através da hidrólise ácida ou enzimática pode ser produzido o bioetanol de 2G. O objetivo foi estudar a hidrólise ácida da batata-doce (*Ipomoea batatas*) em duas concentrações diferentes para produção do bioetanol. A pesquisa foi realizada no Instituto Federal de Alagoas - IFAL *Campus* Maceió. Foram realizados 11 experimentos, com duas concentrações diferentes para hidrólise ácida. Além disso,

foram feitas análises de carboidratos, amido, proteínas, gorduras, umidade e cinzas, a fim de verificar a composição química da amostra. Ademais foi executada a titulação dos açúcares redutores totais - ART e ART em ácido dinitrosalicílico - DNS. A batata-doce apresentou ser rica em carboidratos (27% e 33,4% de amido), açúcares redutores totais (17,8% a 67,8%), proteínas (7,0% a 10,3%), gorduras (0,8% a 0,8%), umidade (22,8%) e cinzas (2,12% a 2,17%). Observou-se que, a partir dos resultados estatísticos do ART e ART em DNS foram melhores nos experimentos 6, 4, 10, 3, 8, 9 e 11. Portanto, a batata-doce vem como uma alternativa para produção sustentável do bioetanol de segunda geração.

Palavras-chave: Biocombustível de 2G. Hortalíça tuberosa. Sustentabilidade.

ABSTRACT

In the production of ethanol, Brazil stands out as the largest exporter and the second largest producer in the world, behind the United States. Biofuels are divided as 1st Generation (1G), 2nd Generation (2G) and 3rd Generation (3G). They are biodegradable. The sweet potato, popularly known, has scientific name of *Ipomoea batatas*. The 2G bioethanol can be produced through its acid or enzymatic hydrolysis. The objective of this work was to study the acidic hydrolysis of sweet potatoes (*Ipomoea batatas*) in two different concentrations for bioethanol production. The research was conducted at the Federal Institute of Alagoas Campus Maceió. 11 experiments were performed, with two different concentrations of acid hydrolysis.

Carbohydrate, starch, protein, fat, moisture and ash analysis were performed, in order to verify the chemical composition of the sample. Determination of total reducing sugars - TRS by Titration and TRS in dinitrosalicylic acid - DNS was performed. The sweet potato was rich in carbohydrate content (27% and 33.4% of starch), total reducing sugars (17.8% to 67.8%), proteins (7.0% to 10.3%) and fats (0% to 0.8%), moisture (22.8%) and ash (2.12% to 2.17%). It was observed that the statistical results of the mean TRS and TRS in DNS were better in the experiments 6,4,10,3,8,9 and 11. Therefore the sweet potato comes as a viable alternative to sustainable production of second-generation bioethanol.

Keywords: Second generation biofuel. Sustainability. Tuberous vegetable.

1. INTRODUÇÃO

Na produção do etanol, o Brasil, destaca-se como o maior exportador e o segundo maior produtor mundial, ficando atrás dos Estados Unidos. Os dois países contribuem de forma significativa, com 80% da produção mundial (FARIAS, 2014).

O etanol foi desenvolvido no ano de 1927, mas apresentou custos elevadíssimos de produção quando comparado com os combustíveis fósseis derivados do petróleo. A produção do biocombustível veio a ganhar destaque na década de 1970, com a crise do petróleo. Os altos preços de importação para nação brasileira, somado com o decréscimo do preço do açúcar mundial, levou o governo do Brasil a criar, investir e estimular o Programa Nacional do Álcool - Proálcool, ele foi idealizado com a proposta de substituir a gasolina pelo etanol hidratado produzido através da cana-de-açúcar (FARIAS, 2014).

Os biocombustíveis podem ser encontrados na forma líquida ou gasosa. São obtidos por meio da biomassa vegetal. E podem ser classificados como biocombustíveis de 1ª Geração (1G), 2ª Geração (2G) e 3ª Geração (3G). Eles são biodegradáveis, diferentemente dos derivados do petróleo, que contribuem negativamente para emissão de gases ao efeito estufa, principalmente, o dióxido de carbono. Logo, os biocombustíveis são alternativas sustentáveis para o meio ambiente, e consequentemente, para a exposição da saúde humana (FARIAS, 2014).

O bioetanol criado pelo Proálcool é classificado como o de 1G, e é obtido através da biomassa da cana-de-açúcar pela fermentação dos monossacarídeos (sacarose, glicose e frutose) presentes no caldo, não precisando de um pré-tratamento para produção. Já o bioetanol de 2G é produzido pela biomassa lignocelulósica da batata, mandioca e milho, ocorrendo um pré-tratamento, e posteriormente, uma hidrólise dos polissacarídeos (celulose e hemicelulose) em açúcares mais simples para fabricação do biocombustível. A diferença na obtenção do bioetanol de 1G e 2G está na matéria-prima e na etapa de pré-tratamento (MARTINS, 2018). É de grande interesse para o Brasil aumentar a produtividade do etanol. Por isso, alternativas com diferentes vias de produção são procuradas e estudadas, a fim de alavancar o mercado nacional e internacional, com a exploração do bioetanol (ERTHAL; ZAMBERLAN; SALAZAR, 2018; FARIAS, 2014).

A batata-doce, como é conhecida popularmente, possui nome científico de *Ipomoea batatas*. Essa hortaliça tuberosa é originária da América do Sul, no entanto, a maior produção encontra-se concentrada na Ásia, com contribuição de 80% da produtividade. A cultura da batata-doce é classificada como rústica, pois é resistente a ataque de insetos, ela consegue crescer e se desenvolver em solos pobres e degradados. Além de se adequar bem em climas tropicais, característica positiva para o Brasil. O ciclo de produção é curto, em torno de 4-5 meses, isso faz com que a hortaliça seja cultivada duas vezes por ano. Por apresentar baixas exigências de solo para plantio e aspecto de rusticidade, a batata-doce demonstra vantagens em relação a outras culturas lignocelulósicas e possui um sistema de plantio, cultivo e produção ideal, e acessível para pequenos produtores (ERTHAL; ZAMBERLAN; SALAZAR, 2018; RIZZOLO, 2014). O objetivo foi estudar a hidrólise ácida da batata-doce (*Ipomoea batatas*) em duas concentrações diferentes para produção do bioetanol.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A indústria brasileira de açúcar e álcool tem influenciado em questões econômicas, sociais e políticas, pois tem empregado cerca de 4,5 milhões de pessoas, esses empregos são fornecidos de forma direta e/ou indireta. Também tem participado com 2,3% do Produto Interno Bruto – PIB, e os veículos leves (*flex fuel*) tem cooperado


com o consumo de 50% do etanol. A forte presença do etanol no país está associada a grandes investimentos financeiros e interesses políticos. Isso foi preciso, porque o etanol teve que se manter viável no mercado brasileiro, e ser um importante e forte produto, para competir com o petróleo (FARIAS, 2014).

No Estado de Alagoas, a usina *Granbio* produz bioetanol de 2ª Geração, junto com a usina *Raízen* em São Paulo, estas duas usinas brasileiras chegam a processar 100 milhões de litros anualmente. É de grande interesse para o setor sucroenergético, o maior aproveitamento possível da biomassa da cana-de-açúcar e da biomassa lignocelulósica, pois são fontes de energias renováveis, que substituem a energia de origem fóssil. A matéria orgânica da biomassa é pobre em enxofre e compostos aromáticos (MARTINS, 2018).

De acordo com o IBGE (2010), “a produtividade média da batata-doce brasileira é de 11 toneladas/hectare”. Como a batata-doce é uma matéria-prima, que apresenta boa produção, com pouco consumo de área plantada e baixo custo de cultivo, isso tem demonstrado bom potencial para produção do etanol. Porém, a batata-doce é associada como uma cultura de subsistência, e isso podem estar relacionadas, com poucas pesquisas, tanto da hortaliça *in natura* como na forma industrializada (ERTHAL; ZAMBERLAN; SALAZAR, 2018; RIZZOLO, 2014).

A composição química vai depender do cultivar. É uma importante fonte de energia e proteínas (RIZZOLO, 2014). A biomassa lignocelulósica é uma forma de energia renovável. Essa biomassa é formada por hemicelulose e pectina, que são os polissacarídeos. Contém também, quantidades mínimas de proteínas estruturais e lignina. A parede celular do vegetal é denominada de lignocelulósica, essa parede é fibrosa e resistente, composta por carboidratos. A rigidez desse vegetal se dá por ligações intermoleculares, as moléculas são ligadas por forças de dipolo-induzido, dipolo-dipolo e ligações de hidrogênio, e a formação de fibrilas por ligações intramoleculares, as moléculas são ligadas por ligações covalentes, iônicas e metálicas (FARIAS, 2014).

Através da hidrólise ácida ou enzimática pode ser produzido o bioetanol de 2G. O processo fermentativo ocorre com a transformação dos açúcares da celulose e hemicelulose, em açúcares mais simples. Para isso, existe uma etapa de pré-tratamento, a partir da ação enzimática que deixa os açúcares mais acessíveis para fermentação e



com um rendimento maior que 90%. As enzimas conseguem aumentar a área superficial, deixando os açúcares reduzidos. A separação e a purificação do etanol acontecem no processo fermentativo (FARIAS, 2014).

O uso da batata-doce (*Ipomoea batatas*) como fonte alternativa na produção de biocombustíveis vem sendo discutido nas últimas décadas, principalmente, pelo seu alto teor de amido e açúcares. Além também de ser uma cultura de baixo custo e facilidade de plantio, visto que o Brasil dispõe de área e solos bem apropriados para essa vegetação. A busca por fontes renováveis tem proporcionado o incentivo de estudos de diferentes matérias-primas para fabricação do bioetanol, pois as fontes derivadas dos combustíveis fósseis são altamente poluidoras ao meio ambiente. E a batata-doce apresenta aspectos que potencializam essa exploração, por apresentar características sustentáveis. No entanto, a cultura de cultivo e produção é negligenciada, pois o foco é mais em agricultura familiar, para o consumo humano e animal em quantidades reduzidas ou em escala industrial para elaboração de produtos agroindustriais (ERTHAL; ZAMBERLAN; SALAZAR, 2018).

No Brasil, a fabricação de biocombustível utilizando a batata-doce, como matéria-prima é pouco empregada. Estudos tem mostrado que o melhoramento genético dessa cultura tem possibilitado resultados superiores na produção do bioetanol em relação ao derivado da cana-de-açúcar. Essas melhorias nos genótipos da batata-doce são necessárias, pois nem todos os cultivares e clones apresentam alta quantidade de amido e açúcares, e conseqüentemente, elevada fabricação do biocombustível. Apesar de ser uma alternativa pouco explorada no país, o Estado de Tocantins possui uma usina produtora de bioetanol a partir da batata-doce, a pioneira nessa área. Ela consegue produzir 3 mil litros por dia, e pretende investir na produção de glucose, álcool em gel e ração animal (MAINO et al, 2019).

A batata-doce vem como fonte promissora para o Brasil, pois o país ocupa o 1º lugar em produção de etanol em escala mundial. O bioetanol gerado por essa tuberosa permite novas possibilidades de fabricação desse biocombustível. Como nem todas as culturas demonstram bons rendimentos de produção é necessário, o uso e o aprimoramento de técnicas de manejo, cultivo e processamento, que possam aumentar a quantidade de bioetanol por área plantada de batata-doce, e isso só é possível, com pesquisas e investimentos. Em um experimento foi avaliado a produção de bioetanol da

batata-doce, 8.839 L/ha, contra 6.195 L/ha de cana-de-açúcar (OLIVEIRA et al., 2017). Logo, o aproveitamento dessa cultura está associado com melhorias de técnicas de plantio, seleção de cultivares e processamento.

O maior produtor mundial de batata-doce é a China, com uma contribuição de 85% da cultura dessa hortaliça. Ela possui a maior população do mundo para alimentar. Mas o país optou por utilizar a cultura para fermentação, e consequentemente, produção do bioetanol. No entanto, há problemas de baixo rendimento do biocombustível por hectare, devido problemas técnicos de processamento, solo e área para plantação. Já o Brasil que ocupa o 20º lugar na produção mundial da batata-doce, detém de condições climáticas excelentes, e por isso, a Embrapa Clima Temperado criou um Sistema de Produção voltado para o cultivo de batata-doce, que possa ofertar um retorno econômico para o país e incentivar na utilização dessa matéria-prima para fabricação de bioetanol (MAINO et al, 2019).

3. METODOLOGIA

A pesquisa foi realizada no laboratório de Bioprocesso, da área de química, do Instituto Federal de Alagoas - IFAL *Campus* Maceió. Inicialmente, a batata-doce foi lavada em água corrente e cortada em pedaços pequenos. Os pedaços picados da amostra foram distribuídos em bandeja de plástico, para auxiliar no momento de pesagem em balança analítica, e após, encaminhadas para estufa por 24 horas. Em seguida, a amostra foi triturada e transformada em farinha. Foram realizados 11 experimentos com 5 pesagens diferentes, os valores foram dados em gramas por litro (g/L). Foi adicionado ácido sulfúrico com concentração de 50% e água destilada. Os valores foram dados em mL/L, conforme a Tabela 1 – Resultados da hidrólise ácida em concentração de 1 mL/L e Tabela 2 – Resultados da hidrólise ácida em concentração de 0,5 mL/L. As amostras foram depositadas em autoclave para sofrer hidrólise ácida em temperatura de 121 °C.

Após processo reacional de hidrólise, foram transferidos 5 mL da amostra e 3 mL de solução de hidróxido de sódio à 50% para um balão volumétrico de 100 mL, em seguida, completou-se o volume com água destilada até o menisco de aferição.

A titulação dos açúcares redutores totais - ART foi feita em bureta de 25 mL. Colocou-se a amostra até aferir o menisco da bureta. Foi preparado triplicata para cada experimento. Foi usado *erlenmeyer* de 250 mL. De modo respectivo, foi adicionado 5 mL de *Fehling B*, 5 mL de *Fehling A* (com fator de correção 0,027) e 50 mL de água destilada. Após, foi colocado à barra magnética e o *erlenmeyer* foi transferido para a chapa aquecedora com agitação, com o intuito da solução do ART entrar em ebulição, para poder iniciar o gotejamento da amostra contida na bureta. Após a primeira viragem, foi adicionado 3 gotas do azul de metileno, continuou-se a titulação até a segunda viragem, com o aparecimento da cor de vermelho tijolo. Anotou-se o volume gasto em cada análise. O cálculo do ART foi obtido pela Equação (1) abaixo:

$$100 \times \text{Balão de diluição} \times \text{Fator de Fehling} - \text{Peso da amostra} \times \text{Gasto da bureta.} \quad (1)$$

Também foi feita a determinação de açúcares redutores totais através do DNS (ácido dinitrosalicílico). Foram retiradas 10 mL da amostra neutralizada e transferida para um frasco âmbar pequeno, com adição de 15 mL de água destilada. Respectivamente, foi adicionado em tubo de ensaio pequeno, 1 mL da mistura contida no frasco âmbar e 1 mL do DNS. Após, o tubo de ensaio foi aquecido em banho-maria, com temperatura de 90 °C por 15 minutos. E em seguida, adicionou-se 8 mL de água destilada e os tubos foram encaminhados para serem esterilizados por 15 minutos em autoclave. A leitura foi feita em espectrofotômetro com frequência de 500 nm.

As análises de carboidratos, proteínas, gorduras, umidade e cinzas, foram realizadas conforme a metodologia convencional recomendada pelo Instituto Adolfo Lutz (2008), a fim de verificar a composição química da batata-doce, para produção do bioetanol.

Os resultados das análises físico-químicas foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias foram comparadas pelo teste de *Tukey* com 5% de probabilidade para verificação de diferença significativa entre os experimentos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A hidrólise ácida foi realizada em duas concentrações diferentes. Inicialmente foi feita em concentração de 1 mL/L, como está apresentado na Tabela 1.



Tabela 1 - Resultados da hidrólise ácida em concentração de 1 mL/L.

| Experimento | Conc. do substrato. (g/L) | Quant. de ácido (mL/L) | Água destilada (mL/L) | Média e desvio padrão (mL/L) |
|-------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 1 | 25 | 2,5 | 250 | 0,699 ± 0,0057 ^f |
| 2 | 25 | 10 | 250 | 0,715 ± 0,0127 ^f |
| 3 | 50 | 2,5 | 250 | 1,289 ± 0,0345 ^{bc} |
| 4 | 50 | 10 | 250 | 1,122 ± 0,0956 ^d |
| 5 | 19,82 | 6,25 | 250 | 0,510 ± 0,0567 ^g |
| 6 | 55 | 6,25 | 250 | 1,450 ± 0,0195 ^a |
| 7 | 37,5 | 0,94 | 250 | 0,301 ± 0,0606 ^h |
| 8 | 37,5 | 11,5 | 250 | 1,170 ± 0,0184 ^{cd} |
| 9 | 37,5 | 6,25 | 250 | 0,938 ± 0,0094 ^e |
| 10 | 37,5 | 6,25 | 250 | 1,354 ± 0,0066 ^{ab} |
| 11 | 37,5 | 6,25 | 250 | 1,554 ± 0,1469 ^{ab} |

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: COSTA et al., 2022.

Na Tabela 1, pode-se observar que os experimentos 3, 4, 6, 8, 10 e 11 apresentaram valores elevados nos resultados, acima de 1.000 mL/L. A concentração foi superior a desejada no estudo da hidrólise. Por isso, houve a necessidade de reduzir a concentração em 50%, a fim de observar se os valores iriam ficar abaixo de 1.000 mL/L. Então, realizou-se a hidrólise ácida com concentração de 0,5 mL/L, conforme a Tabela 2, abaixo:

Tabela 2 - Resultados da hidrólise ácida em concentração de 0,5 mL/L.

| Experimento | Conc. do substrato. (g/L) | Quant. de ácido (mL/L) | Água destilada (mL/L) | Média e desvio padrão (mL/L) |
|-------------|---------------------------|------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 3 | 50 | 2,5 | 250 | 0,597 ± 0,0246 ^b |
| 4 | 50 | 10 | 250 | 0,686 ± 0,0179 ^{ab} |
| 6 | 55 | 6,25 | 250 | 0,802 ± 0,0011 ^a |
| 8 | 37,5 | 11,5 | 250 | 0,594 ± 0,0418 ^b |
| 10 | 37,5 | 6,25 | 250 | 0,726 ± 0,0075 ^{ab} |
| 11 | 37,5 | 6,25 | 250 | 0,725 ± 0,0945 ^{ab} |

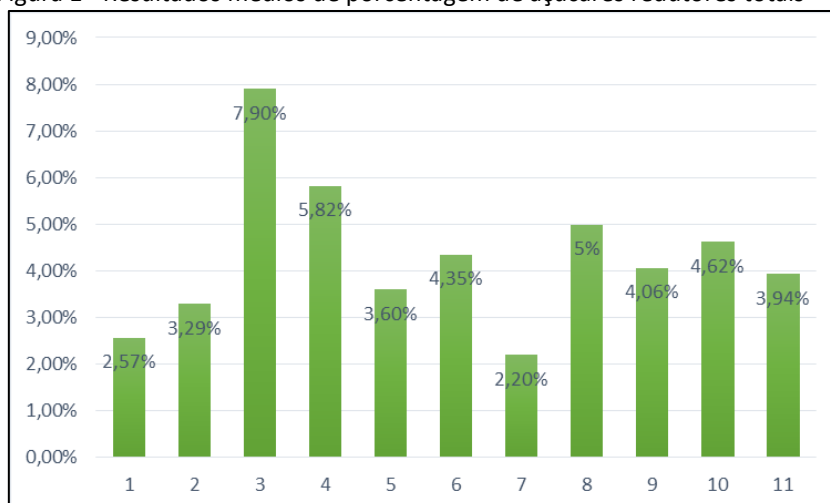
Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Fonte: COSTA et al., 2022.

Observou-se que os resultados apresentados na Tabela 2 foram menores do que 1.000 mL/L. Ou seja, conseguiu-se aproximar os valores de todos os 11 experimentos. Apesar de ter usado duas concentrações diferentes, verificou-se que os valores em mL/L ficaram próximos entre si.

Os resultados do ART e ART em DNS estão expostos na Figura 1 e Figura 2. Os dados foram dispostos através dos cálculos médios de porcentagem para cada experimento.

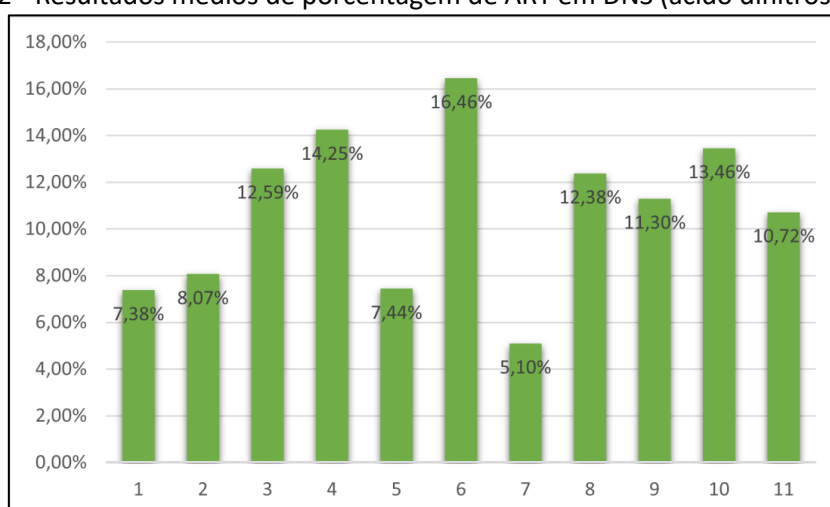
Figura 1 - Resultados médios de porcentagem de açúcares redutores totais – ART.



Fonte: COSTA et al., 2022.

Os resultados da Figura 1 mostram que a quantidade média de ART nos experimentos, com a batata-doce varia de 2,20% a 7,9%. No experimento 3, pode-se observar que a média de ART presente foi alta, isso está associada com fator de correção da solução de *Fehling*, pois houve uma mudança do reagente utilizado, porque foi necessário preparar e padronizar a solução novamente, para continuar com o estudo dos experimentos, que faltaram avaliar.

Figura 2 - Resultados médios de porcentagem de ART em DNS (ácido dinitrosalicílico).



Fonte: COSTA et al., 2022.

O melhor percentual de ART em DNS, foram observados nos experimentos 6, 4, 10, 3, 8, 9 e 11, com resultado médio significativo de açúcares presentes na amostra estudada. O que apresentou menor média aritmética foram os experimentos 7, 1, 2 e 5 de modo respectivo.

Observou-se que, os resultados médios do ART e ART em DNS foram melhores nos experimentos 6, 4, 10, 3, 8, 9 e 11 nas duas Figuras (1 e 2).

Quanto à composição química da batata-doce para produção do bioetanol, foram obtidos os valores expressos na Tabela 3. Para cada experimento foram feitas análises, para avaliar a composição química da amostra. Os resultados estão dispostos de forma geral, ou seja, foi calculada a média dos experimentos para cada constituinte químico da batata-doce.

Tabela 3 - Composição química da batata-doce.

| Carboidratos (%) | Amido (%) | Açúcares redutores totais (%) | Proteínas (%) | Gordura (%) | Umidade (%) | Cinzas (%) |
|------------------|-----------|-------------------------------|---------------|-------------|-------------|------------|
| 27 | 33,4 | 17,8-67,8 | 7-10,3 | 0-0,8 | 22,8 | 2,12-2,17 |

Fonte: COSTA et al., 2022.

A batata-doce apresentou ser rica em carboidratos, com teor de 27% e 33,4% de amido. Quanto aos açúcares redutores totais foram encontradas taxas de 17,8% a 67,8% em raízes frescas. Demonstrou variações próximas, em baixos teores de proteínas 7,0% a 10,3% e de gorduras 0,1% a 0,8%. Apresentou umidade de 22,8% e 2,12% a 2,17% de cinzas.

Há estudos de levantamento bibliográfico e de revisão sobre o potencial da batata-doce para fabricação do bioetanol. O rendimento do biocombustível está diretamente ligado ao cultivar e ao processamento da matéria-prima, e por isso, são necessários mais incentivos às pesquisas nessa área, visto que é uma alternativa sustentável para o meio ambiente, e que o Brasil apresenta estruturas climáticas excelentes, solos adequados e áreas vastas para plantação dessa tuberosa (MAINO et al, 2019; OLIVEIRA et al., 2017).

Em um estudo sobre *“Performance of sweet potato clones for bioethanol production in different cultivation periods”* foi analisado 3 cultivares de clones diferentes com o intuito de conhecer qual apresentou melhores teores de amido em períodos

distintos de plantação. Os resultados obtidos para o clone 1, 2 e 3 são mostrados respectivamente, (38,32%), (34,44%) e (36,68%) (OLIVEIRA et al., 2017). Os valores são próximos ao encontrado neste estudo (33%). É importante estudar o melhoramento genético da batata-doce, pois nem todos os cultivares apresentam quantidades viáveis de amido e açúcares para produção de bioetanol.

Uma pesquisa intitulada “Estudos para o aproveitamento biotecnológico de variedades de batata-doce [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] na fermentação alcoólica para a produção de etanol combustível e aguardente” avaliou a quantidade de amido em três variedades distintas, Amélia (12,8%), Cuia (22,91%) e Rubissol (21,03%) (RIZZOLO, 2014). Os resultados foram divergentes em relação ao teor de amido encontrado neste estudo (33%). Os dados em literatura, assim como, o dessa pesquisa confirmam a necessidade de conhecer o cultivar ideal, para exploração industrial do etanol.

Analisou-se que a batata-doce possui alta quantidade de amido e açúcares redutores totais, e que a hidrólise ácida não afetou a presença desses açúcares. No entanto, resultados divergentes são encontrados por Barros e Brum, no estudo “Produção de etanol a partir do resíduo da batata proveniente da indústria alimentícia”, que mostra a destruição parcial dos açúcares pela hidrólise ácida, o que ocasionou dificuldade no processo de fermentação, pois o fermentado não apresentou graduação alcoólica ideal para fabricação do bioetanol (BARROS; BLUM, 2018).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A batata-doce surge como uma alternativa viável para fabricação do bioetanol de 2G, devido seus teores significativos de açúcares redutores totais e amido. Além também de ser uma matéria-prima sustentável, que pode substituir os combustíveis fósseis futuramente nessa produção.

O estudo mostrou que hidrólise ácida possibilita a fermentação do amido em açúcares mais simples, para obtenção do bioetanol, e que não houve destruição dos açúcares responsáveis pelo processo fermentativo.

Há falhas de processamento somado a variedades desconhecidas de batata-doce, com baixos teores de amido e açúcares. E por isso, essa alternativa deve ser mais explorada e estudada, visto que há poucas pesquisas sobre essa tuberosa para produção

de biocombustível. E a partir da adequação de processos e seleção do cultivar ideal, é possível produzir bioetanol em escala industrial, e esses efeitos são benéficos à economia do país, ao meio ambiente e a saúde pública.

REFERÊNCIAS

- BARROS, P. S.; BLUM, R. P. **PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DO RESÍDUO DA BATATA PROVENIENTE DA INDÚSTRIA ALIMENTÍCIA.** Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Química) Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR. 39p. Ponta Grossa, 2018.
- ERTHAL, E. S; ZAMBERLAN, J. F; SALAZAR, R. F. dos S.. A BATATA-DOCE (*IPOMOEA BATATAS*) COMO BIOMASSA ALTERNATIVA PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS FRENTE AOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS. **Revista CIENTEC 45**, v.2, n.1, p.44-63, ago./2018.
- FARIAS, D. **PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO POR *Scheffersomyces stipitis* A PARTIR DE PENTOSSES EM PROCESSO EXTRATIVO À VÁCUO.** Tese (Doutora em Engenharia de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas. 263p. Campinas, 2014.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal 2010: culturas temporárias e permanentes.** Rio de Janeiro, 2010.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. Coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea. **4. ed.** São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. p. 819-877.
- MAINO, S. C et al.. BATATA-DOCE (*IPOMOEA BATATAS*) DENTRO DO CONTEXTO DE CULTURAS ENERGÉTICAS, UMA REVISÃO. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.8, n.4, p.629- 638, nov. 2019.
- MARTINS, C. Z. **AValiação da produção de etanol de segunda geração.** Monografia (Curso de Engenharia Química) Universidade Federal de Uberlândia. 50p. Uberlândia – MG, 2018.
- OLIVEIRA, A. M. S et al.. *Performance of sweet potato clones for bioethanol production in different cultivation period.* **Revista Hortic. bras.**, v35, n.1, Jan. - Mar. 2017.
- RIZZOLO, J. A. **ESTUDOS PARA O APROVEITAMENTO BIOTECNOLÓGICO DE VARIEDADES DE BATATA-DOCE [*Ipomoea batatas* (L.) Lam] NA FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL COMBUSTÍVEL E AGUARDENTE.** Tese (Doutora em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia) Pós- Graduação em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná. 122p. Curitiba, 2014.



A IMPORTÂNCIA DO FERRO (FE) E COBRE (CU) PARA A MINERAÇÃO NO BRASIL

THE IMPORTANCE OF IRON (FE) AND COPPER (CU) FOR MINING IN BRAZIL

DOI: 10.51859/AMPLLA.PCE2111-13

Sarah Brasil de Araújo de Miranda ¹
Otavio Andre Chase ²
Renato Oliveira da Silva Júnior ³
Gustavo Francesco de Moraes Dias ⁴
Jamer Andrade da Costa ⁵
Silvana Do Socorro Veloso Sodre ⁶
Carlos Eduardo Aguiar de Souza Costa ⁷

¹ Mestranda. Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável – ITV DS

² Professor e Pesquisador. Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

³ Professor e Pesquisador. Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável – ITV DS

⁴ Professor e Pesquisador. Instituto Federal do Pará – IFPA

⁵ Professor e Pesquisador. Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

⁶ Professora e Pesquisadora. Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA

⁷ Professor e Pesquisador. Universidade Federal do Pará – UFPA

RESUMO

As questões referentes as atividades extrativas mineiras e o desenvolvimento sustentável têm ganhado cada vez mais a atenção da sociedade moderna desde a Rio – 92, na qual as temáticas ambientais, assim como as conclusões do Relatório Brundtland foram debatidos em fórum amplo e de grande repercussão internacional. Diante dessas questões ambientais, da economia e a atividade de extração de minérios, é importante conhecer a realidade das relações entre o meio ambiente, atividade de mineração e o desenvolvimento econômico. Neste caso, o estudo objetiva apresentar a importância do ferro e cobre para a atividade mineradora, assim como, manter um equilíbrio socioambiental deste setor, juntamente com os fundamentos atribuídos à legislação ambiental atuante no Brasil. Para isso, o artigo teve como base uma revisão bibliográfica, acerca da literatura publicada em artigos, dissertações, teses relativas ao tema. A mineração, é o setor responsável pelo crescimento da economia do país e um ramo que está em ascensão contínua.

A inclusão dos estudos ambientais, como fator indispensável para o funcionamento, instalação e operação da atividade. Verificou-se que com tais premissas, ficam perceptíveis que a sustentabilidade estará resguardada e principalmente pelas técnicas alternativas para diminuição dos impactos ambientais impostos pelos mineradores e as empresas. Dessa forma o estudo demonstra ser indispensável para a atividade da mineração a adoção pelas empresas que consomem os recursos minerais de métodos sustentáveis para tornar a extração do minério menos agressiva ao meio ambiente, utilizando-se de novas tecnologias e estudos disponíveis na literatura para a minimização e compensação dos impactos gerados.

Palavras-chave: Mineração. Sustentabilidade. Environment.

ABSTRACT

Issues related to extractive activities in Minas Gerais and sustainable development have increasingly gained the attention of modern

society since Rio - 92, in which environmental issues and the conclusions of the Brundtland Report were debated in a broad forum with great international repercussion. Given these environmental, economic, and mineral extraction issues, it is vital to know the reality of the relationship between the environment, mining activity, and economic development. In this case, the study aims to present the importance of iron and copper for the mining activity and maintain a socio-environmental balance in this sector, together with the fundamentals attributed to the environmental legislation in force in Brazil. The article was based on a literature review about the literature published in articles, dissertations, theses related to the topic. Furthermore, mining is the sector responsible for the growth of the country's economy and a sector that is in

continuous growth. Hence, the inclusion of environmental studies, as an indispensable factor for the operation, installation, and operation of the activity. It was found that with such assumptions, it is noticeable that sustainability will be protected and mainly by alternative techniques to reduce the environmental impacts imposed by miners and companies. Thus, the study shows that it is essential for the mining activity to adopt sustainable methods by companies that consume mineral resources to make ore extraction less aggressive to the environment, using new technologies and studies available in the literature to minimize and compensate for the impacts generated.

Keywords: Mining. Sustainability. Brazil.

1. INTRODUÇÃO

A mineração é um fator chave para o desenvolvimento socioeconômico e de infraestrutura, como transporte, aeroespacial, construção, embalagem, energia, eletrônica, tecnologia médica, etc. O impacto da mineração tem sido uma questão de séria preocupação ambiental; contaminação principalmente por metais pesados (MP), em muitas partes do mundo (LI et al. 2014, SAHOO et al. 2016, HOSSEINI et al. 2018, SAHOO et al. 2021).

O impacto da mineração varia significativamente com relação ao tipo de minério e processamento / manuseio. O minério de ferro é uma matéria-prima essencial usada para a produção de ferro e aço e a demanda deve crescer com o aumento da população. A mineração do minério de ferro resulta em mudanças no uso da terra que impactam os ecossistemas desde a mineração inicial até a produção final e gestão de resíduos (SKIRYCZ et al. 2014).

Nesse contexto, o uso e estudo dos diversos materiais presentes na natureza, bem como aqueles que são desenvolvidos pelo homem levou à origem da ciência dos materiais, a qual tem por objetivo conhecer e estudar profundamente a relação da estrutura do material e suas propriedades e o seu processamento, de tal forma que seja possível produzir produtos que apresentem nas condições de uso um bom desempenho,

desde o local onde são encontrados, extraídos, até sua fabricação com apropriada durabilidade e funcionalidade (PALHETA, 2017).

De acordo com Hahn (1994) a sociedade iniciou em uma nova era de materiais. Com o avanço da globalização, as sociedades desenvolvidas em todo o mundo adquirem novas habilidades sem precedentes com o intuito de produzir materiais para satisfazer necessidades humanas. Com isso, sem a produção de novos materiais eficientes não existiria atualmente equipamentos com alta tecnologia tais como: computadores, automóveis, máquinas, aeronaves, aparelhos de comunicação e produtos estruturais.

O desempenho dos materiais é a resposta do mesmo a estímulos externos presentes nas suas condições de utilização, o desempenho depende do tratamento, processamento e das propriedades do material envolvido, alguns fatores que influenciam no desempenho: temperatura, corrosão, radiação, desgaste e radiação (MORENO, 1996).

Os quatro componentes fundamentais da ciência dos materiais são processamento, estrutura, propriedade e desempenho e seu inter relacionamento linear, sendo o processamento é o agrupamento de técnicas usadas como forma de obtenção para um material das quais as características tenham formas e propriedades específicas. A estrutura é a agregação da combinação de vários elementos do material que está sendo analisado, essa análise pode ser realizada em várias dimensões, como por exemplo, por meio da nanoestrutura, estrutura atômica, macro estrutura e microestrutura. As propriedades se remetem ao tipo e a intensidade de um material, essas propriedades podem ser reunidas em diferentes grupos: térmicas, magnéticas, mecânicas, elétricas, ópticas e de degradação. E por último, o desempenho de um material é a função de suas propriedades, a estrutura de um material dependerá de seu processamento (MILANEZ, 2012).

Baseado em princípios químicos e na estrutura, os materiais podem ser classificados em três grupos principais: metais, polímeros e cerâmicas. Cada grupo com as suas devidas características. Os metais (Fe, Ti, Zn) constituídos por um ou elementos metálicos, sendo suas características: rígidos, resistentes, dúcteis, bons condutores elétricos e térmicos, moderada plasticidade. Por outro lado, as cerâmicas a sua composição são de combinação de elementos metálicos e não metálicos, cerâmicas de alto desempenho, normalmente isolantes. E por fim, os polímeros que são os plásticos,

borrachas e adesivos, são caracterizados com baixa condutividade elétrica, baixa resistência a temperatura. Também existe os compósitos, compostos por dois ou mais materiais individuais (EGGER, 2016)

Ao falarmos de propriedades, existem diversas delas que são importantes no desenvolvimento de materiais ou de alternativas de processo e aplicações: econômicas, fabricação, microestruturais, mecânicas entre outras. Entretanto, o entendimento das propriedades mecânicas dos materiais, por exemplo, possibilita a triagem de fatores de segurança apropriados, que irão influenciar de maneira objetiva na parte econômica de um projeto podemos citar: resistência, dureza, ruptura, escoamento, desgaste etc.

Para Moreno (1996) as propriedades superficiais que devem de ter os materiais em função do tipo de desgaste (corrosão, revestimento, adesão, erosão, desgaste). O deterioro do material de um componente metálico pode variar consideravelmente de muito intenso a insignificante. As propriedades da matéria podem ser classificadas em dois grupos, primeiramente físicas que podem ser medidas sem alterar a sua composição ou químicas que se transformam em outro material, como por exemplo, elétricas (resistência e termoeletricidade), magnéticas, óticas (cor, transparência, refração, absorção), durabilidade química.

Este trabalho aborda a importância da cadeia produtiva dos principais metais extraídos da Vale (cobre e ferro) e as perspectivas de crescimento da produção e do consumo a nível local e mundial.

2. METODOLOGIA

Para Cervo et al. (2007, p.61), a revisão bibliográfica “estabelece a metodologia básica para os estudos monográficos, pelos quais se procura o domínio do estado da arte sobre o tema escolhido”. O presente estudo consiste em uma pesquisa bibliográfica, sendo elaborado a partir de material já desenvolvido, documental e valendo-se também de material sem tratamento analítico (GIL, 1994).

Nesse sentido, foi realizado um amplo levantamento bibliográfico em bases constituídas por artigos científicos publicados em periódicos e/ou revistas indexadas, livros e monografias com o objetivo de obter subsídios e melhor entendimento do objeto desta pesquisa. Utilizou-se os bancos de dados do Google Acadêmico, Scielo e

Capes/periódicos, a fim de identificar estudos relacionados a mineração, sustentabilidade e estudos socioambientais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. ESTRUTURA, PROPRIEDADE DO FERRO (FE) E A MINERAÇÃO

Minério é uma rocha ou mineral que podem ser extraídos para uma ou mais substâncias úteis economicamente viáveis, sendo um material natural e parte desse minério que não tem valor econômico é chamado de ganga (SAHOO et al. 2021).

O ferro é um dos elementos mais abundantes / importantes e se extrai em todo o mundo. O mineral de ferro deve conter ao menos 30% de Fe para ser economicamente viável. A extração de minério de ferro é normalmente feita por meio de mineração a céu aberto, que oferece maior produtividade e menores custos e riscos de segurança em comparação à mineração subterrânea (SAHOO et al. 2021).

O minério de ferro ocorre em quatro categorias principais com base na origem (GROSS, 1970; KLEMIC et al. 1973; SAHOO et al. 2021): sedimento (formação de ferro em faixas e camadas vermelhas), ígneo (segregação magmática e skarn), hidrotermal e enriquecimento de supergênio (lateritas). A maior parte do minério de ferro contém óxidos como magnetita (Fe_3O_4), hematita (Fe_2O_3), goetita ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) e limonita ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$). Hematita e magnetita têm a maior proporção de Fe e rendem quase 98% do minério de Fe global usado para fazer aço.

Existem diversos minerais de ferro encontrados na natureza, que não têm valor econômico para a extração do ferro. Porém, não significa que eles não tenham importância tecnológica e científica. Por exemplo, a akaganeita (FeOOH), foi recentemente usada como material catódico em baterias de lítio recarregáveis (DUARTE, 2019).

Para Guimarães (2015), o ferro possui várias propriedades tais como: bom condutor de eletricidade e calor, é utilizado amplamente para a fabricação de aço, máquinas, veículos de transporte, liga metálica para a produção de ferramentas, elemento estrutural de pontes, edifícios e uma abundância de outras aplicações.

Para Silva (2008) o ferro é um metal com característica de alta dureza, resistente, tenaz, maleável, dúctil com a coloração branco-acinzentada desenvolvendo

propriedades magnéticas sendo ferromagnético à temperatura ambiente, bem como o Cobalto e o níquel. Possui símbolo atômico Fe e à temperatura ambiente, encontra-se no estado sólido.

De acordo com Pfiffer (2004) o setor da mineração é essencial para fonte de renda da sociedade, também sendo um forte pilar financeiro e econômico para o Brasil. Para Guimarães (2017) a indústria da mineração é fundamental para o setor econômico do país no sentido de obter o equilíbrio na economia, isso porque a extração de ferro é uma das principais commodities que o Brasil exporta. A mineração também está relacionada com a geração de vários empregos tanto diretos como indiretos, propriamente por proporcionar matéria prima para diversos tipos de indústria (GUIMARÃES, 2017).

Alguns minérios precisam ser extraídos do solo, tratados e a partir deles, resulta na obtenção do ferro metálico. Os processos para a aquisição do ferro e do aço compreendem as seguintes etapas:

Figura 1 – Processos de aquisição do Ferro



Fonte: Autoria própria.

Primeiramente, temos a extração do minério bruto, nessa etapa se utilizam escavadeiras para retirar o ferro de uma determinada área onde este normalmente está presente em grandes quantidades. Nessa etapa, essas áreas são ocupadas para a instalação, transporte e extração do minério, logo os impactos socioambientais devem ser contidos pelas empresas (KOPEZINSKI, 2000).

Conforme (TONIETTO, 2011) os diversos recursos ambientais no país têm grande valor econômico, como por exemplo, o ferro é um fundamental produto de exportação na balança comercial brasileira. Considerando o tripé do desenvolvimento sustentável (social, ambiental e econômico) deve levar em consideração os impactos em diversos setores.

No estado do Pará na região da Serra dos Carajás temos como principal minério encontrado o ferro, o qual adquiriu destaque a partir da década de 60, além disso essa área apresenta grande abundância de outros minerais como cobre, níquel e ouro (LAMOSO, 2015).

3.2. ESTRUTURA E PROPRIEDADE DO COBRE (CU)

O cobre tem suas principais funções como a boa condutibilidade térmica em relação a produção dos seus materiais como: fios e cabos, além disso, o cobre é um metal muito macio e bastante utilizado para fabricação de painéis por ser um ótimo material condutor de calor, uma outra função do cobre é a aplicação muito importante como componente de ligas como por exemplo, o latão, bronze e a alpaca.

Muitos minerais são importantes economicamente para a nação e o cobre é um deles, sendo conhecido e utilizado pela civilização há mais de anos sendo um metal importantíssimo, pois permite diversas funções como: reciclagem, conservação de recursos, redução de resíduos, diminuição dos efeitos nas mudanças climáticas, aumento dos ciclos de vida de diversos produtos. Todas estas características fazem do metal cobre ser fundamental para o desenvolvimento econômico da humanidade (SILVA, 2019).

Para Bergeman (2009) o cobre ajuda a delinear o mundo em que estamos hoje, suas propriedades de condução de calor e de energia ultrapassam as de qualquer outro metal explorado comercialmente no Brasil. Reciclável, maleável, resistente à corrosão e a altas temperaturas, o cobre é aproveitado na transmissão de energia, em fiações e em praticamente todos equipamentos eletrônicos do nosso dia a dia.

3.3. MINERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

As mineradoras que atuam no Brasil têm se preocupado cada vez mais com a importância do desenvolvimento sustentável atualmente, e essa propensão têm

ocasionado com que essas empresas desenvolvam processos importantíssimos de estudos ambientais de acordo com a legislação ambiental, como por exemplo, a recuperação de seus rejeitos minerais. As empresas mineradoras buscam ajustar suas práticas com a sustentabilidade ambiental utilizando-se como critérios como normas que regem o setor econômico da indústria de mineração (Figura 2).

Figura 2 – Pilares do desenvolvimento sustentável



Fonte: Autoria própria.

De acordo com Donaire (1999), o desenvolvimento sustentável, relaciona a equidade ambiental, social e econômico. Entende-se que há responsabilidade comum como processo de mudança no qual exploração de recursos naturais, os investimentos financeiros e o desenvolvimento tecnológico deverão conquistar sentidos harmoniosos.

É notório a implementação de instrumentos de gestão na indústria da mineração, com o objetivo de diminuir o passivo ambiental, aumentando a certificação de sistemas de gestão e controle ambiental e políticas de gestão ambiental. Portanto, com todas essas ferramentas introduzidas, os resultados positivos logo aparecerão para essas empresas assim como a melhoria na imagem diante da sociedade. Diante disso, as certificações ISO 14001 e o domínio corporativo têm funções essenciais para a melhoria da gestão empresarial da mesma maneira que a evolução dos sistemas de gestão, no objetivo de integrar aspectos econômicos, sociais e ambientais.

De acordo com Almeida (2007), a mineração é uma atividade essencial para o desenvolvimento de uma sociedade equilibrada, desde que seja desenvolvida com responsabilidade socioambiental, estando sempre presentes os princípios do desenvolvimento sustentável.

3.4. PROCESSAMENTO E RECICLAGEM

O cobre é um dos metais mais utilizado mundialmente só perdendo para os aços e o alumínio e suas ligas. O resíduo de cobre tem se tornado muito valorizado porque é originário de um metal largamente empregado na indústria. Eles têm a característica de possuir excelente condutividade elétrica, maleabilidade, resistência a corrosão, alto poder de condutividade térmica e sendo empregado principalmente na fabricação de materiais elétricos, puro ou em liga com outros metais (VEIT, 2008).

Esses resíduos de cobre são encontrados nos fios de telefone e de computadores podem virar lucro, esses materiais tem grande potencial de reciclagem, trazendo lucro às empresas tratadoras e evitando impactos ambientais. O cobre é dos raros metais que podem ser reciclados várias vezes sem qualquer perda de qualidade ou de desempenho, esse é um dos grandes benefícios para tratadoras que lidam com os resíduos de cobre é que o metal é 100% reciclável (MESSINA, 2002).

Seguindo os preceitos das leis ambientais, a reciclagem do material do cobre é uma prática ecologicamente correta, evita a geração de resíduos e ao mesmo tempo minimiza a exploração de recursos naturais além de gerar empregos para a sociedade. As empresas que reciclam o cobre podem colocar no mercado uma substância com o mesmo desempenho e qualidade, a reutilização do cobre gera renda, evita a emissão de CO₂, economiza energia e a degradação da natureza.

Podemos observar através da (Figura 3) que ferro é o metal com a decomposição entre 10 anos sendo o metal mais utilizado na produção mundial em razão da sua dureza e seu baixo custo. O metal é essencial para a construção de diversas coisas como os eletrodomésticos, automóveis, barcos e componentes estruturais de construções. Diante disso, a reutilização do ferro é muito importante, já que ele conserva suas propriedades como versatilidade, resistência e durabilidade.

Figura 3 – Tempo de decomposição dos resíduos



Fonte: TR sucatas (2021).

Pode-se concluir que a reciclagem de metais em geral traz vários benefícios socioambiental como: geração de emprego, diminuição da poluição, economia de minérios, economia de água, aumento da vida útil dos lixões.

3.5. RESPONSABILIDADE AMBIENTAL: ISO 14.0001 – SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL

Para Vinha (2003), as organizações estão sendo cada vez mais submetidas a substituir suas sistemáticas internas de gestão e por consequência suas técnicas de produção estão no sentido de minimizar custos e adaptar seus produtos aos requisitos e necessidades do mercado. Diante desse cenário é que o sistema gestão ambiental e de gestão da qualidade têm sido gradualmente mais objeto da atenção dos responsáveis que os têm utilizado como forma de obter vantagem em relação à concorrência.

Sendo assim, as uma grande procura das empresas que querem diferenciar-se, à vista disso, essas empresas começam a participar da implementação dessa certificação que agrega valor ao produto, pois significa um selo de confiança no sistema de gestão implantado pelas empresas. A ISO 14001 determina requisitos para gerenciamento de sistemas de gestão ambiental sem estabelecer a forma e o grau que eles devem atingir ou alcançar, permitindo, possibilitando que as empresas expandem suas próprias soluções para o atendimento das exigências da norma (ARAUJO, 2005).

De acordo com a ISO 14001:2006 o sistema de gestão ambiental tem sua aplicação na metodologia PDC (Plan – Do – Check – Action) que tem como principal função proporcionar a melhoria continua no processo. O plan é de planejar: planejar os objetivos e processos fundamentais para atingir os resultados esperados da empresa; o Do é executar, ou seja, executar os processos; o check é verificar ou monitorar o que está sendo realizado e descrever os resultados; e por último o action é agir de forma a promover melhorias baseadas nos resultados monitorados (MOREIRA, 2002).

A conservação do meio ambiente não pode ser ignorada no dia a dia das organizações, já que esse também faz parte da área de trabalho dos gestores, pois sem essa preocupação, elas terão sua disponibilidade econômica e a própria competitividade comprometida. Compreender o avanço das reivindicações ambientais e também sua transformação de pensamentos e políticas, assim como, valores sociais que consolidam em mudanças na legislação ambiental e em regulamentações mais sérias é um objetivo fundamental para a lucratividade e sobrevivência da empresa no longo prazo (ALPERSTEDT, 2010).

Esse pensamento se refletiu nas grandes empresas de mineração, contrariar essas ideias de concepção tem sido um processo demorado, chegando em alguns países, na integração da visão de stakeholders nos novos métodos de desenvolvimento. A contribuição dos estudos ambientais auxilia no controle e ou mitigação de riscos ambientais do crescimento econômico e apresenta resultados bem específicos nos países em desenvolvimento. No Brasil, a legislação ambiental é uma das mais completas e avançadas do mundo moderno.

As novas tecnologias podem trazer um novo rumo para a mineração, essas tecnologias resultam em diversos benefícios e contribui para o desenvolvimento sustentável que depende de diversos fatores como: a escassez de recursos naturais, mercados mais competitivos, pressão da sociedade civil, existência de mecanismos de fiscalização e, finalmente, o próprio custo financeiro para implantação e certificação da norma ISO 14000 (BOWEN, 2013).

Para Oliveira & Pinheiro (2010) o sistema de gestão Ambiental contribui para a organização no desempenho das metas ambientais, aprimorando operações industriais e conciliando ações socioambientalmente corretas com maior produtividade e menor custo como podemos observar na figura 4. No entanto, implementar o SGA carece de

investimentos na área ambiental e principalmente na conscientização das pessoas (CROTTI et al., 2017), sendo este o maior desafio e primeiro passo para a conquista da certificação.

Figura 4 – Modelo de Sistema da Gestão Ambiental



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 14001 (2004).

Mesmo com todos os requisitos para a certificação ambiental, esta pode ser um grande diferencial competitivo entre as empresas, certificando aos clientes a responsabilidade em minimizar os impactos ambientais, conscientizar os stakeholders e preservar o meio ambiente (CROTTI et al., 2017).

3.6. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E A MINERAÇÃO

Atualmente, o mundo precisa migrar da matriz energética atual para fontes de energias renováveis, como por exemplo, a energia solar e energia eólica, como também, o aproveitamento energético das marés, das correntes oceânicas, e até mesmo das ondas.

É de grande importância incluir a questão da mineração nas discussões ambientais, por conta do Plano Estratégico da Biodiversidade, que está sendo elaborado ONU, visto que, a mineração para alguns ambientalistas está na lista de atividades indesejáveis, por conta dos impactos advindos dessa atividade. Diante disso, se sairmos da inovação tecnológica atual, precisaremos da mineração para extrair as matérias-primas para a geração sustentável de energia.

O planejamento energético na mineração é muito importante para garantir que os stakeholders tenham as informações essenciais para que as melhores decisões e escolhas sejam feitas. Com isso, o planejamento energético na mineração tem como

principal objetivo contribuir e planejar as partes interessadas nas escolhas a serem realizadas sobre o futuro do sistema de energia na área da mineração.

O passo inicial para começar um projeto de eficiência energética na indústria da mineração primeiramente a sensibilização e conscientização da alta direção sobre os benefícios que decorrem da gestão de energia nos processos produtivos. Em seguida, acontece a realização do diagnóstico energético que tem por finalidade avaliar a utilização de energia elétrica nos processos produtivos da área em questão. Também verifica os tipos de consumo, fatores de produção e produção do uso de energia para a operação da indústria. Por fim, também pode-se recomendar medidas corretivas e de eficiência da utilização de energia elétrica e analisar as consequências das medidas tomadas na área da mineração.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mineração de ferro vem apresentando uma expansão exponencial nos últimos anos, em decorrência da grande demanda por produção e consumo de aço em diversos países do mundo principalmente na China. Esse crescimento acelerado da economia no país resulta no aumento da demanda por produtos siderúrgicos. Os importantes investimentos setoriais em infraestrutura e o desenvolvimento da indústria de equipamentos e o aumento do consumo de bens duráveis como por exemplo automóveis, entre vários fatores reforçam esta trajetória.

Desde os tempos de colônia, o Brasil tornou-se a indústria da mineração em um dos setores com intervenção na economia nacional, resultando em um suporte econômico e financeiro para o país. Atualmente, a exploração por recursos naturais é uma das esferas básicas da economia brasileira definida pelo potencial do solo, completo de riquezas naturais.

Esse trabalho buscou apresentar as normas regulamentadoras e as políticas ambientais existentes nessa área, daí a necessidade contínua de aperfeiçoamento do tema proposto. O processo de implantação do Sistema de Gestão Ambiental (SGA) tem como fundamento, verificar as consequências da exploração ambiental pelas empresas e propiciar melhorias de capacitação de seus diferentes stakeholders nos seus padrões de desempenho ambiental.



Diante do conteúdo apresentado, fica claro que as empresas mineradoras têm buscado continuamente novos caminhos na busca de relacionar o setor da mineração de forma sustentável, utilizando o reaproveitamento e redução no consumo de matérias primas e energia, com resultados importantíssimos para o custo das empresas e para a mitigação do impacto ambiental.

É importante ressaltar ainda que as empresas mineradoras têm reconhecido com seus stakeholders o comprometimento com o desenvolvimento sustentável por meio de ações inovadoras e da busca contínua do alcance das certificações de qualidade, como a Norma ISO 14001. Podemos dizer que é possível encontrar meios de se desenvolver economicamente conservando o meio ambiente e a sociedade como um todo.

Esse tema não pode ser finalizado por aqui, diante disso, fica a sugestão de que esse assunto venha a ser cada vez mais estudado, analisado e repensado pelas grandes empresas envolvidas e administradores do ramo da mineração para que o trabalho deixe de estar somente na teoria e assim colocado em prática no seio das organizações.

Atualmente, as empresas mineradoras buscam diferentes formas de incluir tecnologias mais eficientes e menos impactantes, chamadas também ‘tecnologias mais limpas’, é fundamental para a preservação da qualidade de vida no planeta. Observa-se que neste cenário do setor da mineração cada vez mais as empresas vêm aderindo medidas diferenciadas, como por exemplo, a implantação de um sistema de gestão ambiental que terá como meta a certificação da ISO 14001:2006.

Por fim, com base no artigo um sistema de gestão ambiental satisfatório e bem gerenciado traz diversos benefícios para a empresa, assim como, a interação total entre todas as partes interessadas, a empresa que presta o serviço, o cliente e a comunidade local, que percebe diretamente os impactos positivos através das melhorias que a empresa realiza, por meio de várias ações de educação ambiental, redução da poluição, aplicação de tecnologias mais limpas. Todavia, as empresas mineradoras atualmente têm como propósito desenvolver novas tecnologias, expandindo o conhecimento e a fronteira dos negócios de maneira sustentável.

REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Normas da Série ISO 14000**. NBR ISO 14001. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ALMEIDA, F. **Os Desafios da Sustentabilidade**. Elsevier Editora. 2007.
- ALPERSTEDT, G. D.; QUINTELLA, R. H.; SOUZA, L. R. Estratégias de gestão ambiental e seus fatores determinantes: uma análise institucional. **Revista RAE**, São Paulo, v. 50, n. 2. 2010.
- ARAÚJO, G. M. **Sistema de Gestão Ambiental ISO14001/04**. Rio de Janeiro. Editora Gerenciamento Verde, 2005. p.74-128.
- EGGER, V. A.; FONSECA, F. J.; COSTA, A. F. Desenvolvimento sustentável na mineração. **Revista Científica Intelletto**, v. 1, n. 3, p. 27-37. 2016.
- BERGERMAN, M.; DELBONI, H.; NANKRAN, M. Estudo de variabilidade e otimização do circuito de moagem SAG da Usina do Sossego. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 62, n. 1, p. 93-97. 2009.
- BOWEN, H. R. **Social responsibilities of the businessman**. Iowa City: University of Iowa Press, 2013.
- CERVO, A. L.; BERVIAN, P. A.; DA SILVA, R. **Metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2007.
- CROTTI, K.; MAÇANEIRO, M. B.; KUHLE, M. R. Certificação ISO 14001: Análise dos fatores relacionados à conscientização ambiental de colaboradores de uma indústria de papel da região centro-sul do Paraná. **Revista de Administração da UFSM**, v. 10, p. 129-148. 2017.
- DONAIRE, D. **Gestão ambiental na empresa**. 2.ed. São Paulo: Atlas. 1999.
- DUARTE, H. A. Ferro - um elemento químico estratégico que permeia história, economia e sociedade. **Química Nova**, v. 42, n. 10, p. 1146-1153. 2019.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 4 ed. São Paulo: Atlas. 1994.
- GROSS, G. A. Nature and Occurrence of Iron Ore Deposits. In: **Survey of World Iron Ore Resources, Occurrence and Appraisal**. New York: United Nations Department of Economics and Social Affairs. 1970.
- GUIMARÃES, C. L.; MILANEZ, B. Mineração, impactos locais e os desafios da diversificação: revistando Itabira. **Desenvolvimento e meio ambiente**, v. 14. p. 215-236. 2017.

- GUIMARAES, C. M.; SYMANSKI, L. C. P.; DE SOUZA, M. A. T. A escravidão e o ferro: metalurgia, arqueologia e patrimônio (séculos XVIII-XIX). In: DO CARMO, F. F., KAMINO, L. H. Y. **Geossistemas Ferruginosos do Brasil**. 2015.
- HAHN, S. Os papéis da ciência dos materiais e da engenharia para uma sociedade sustentável. **Estudos avançados**, v. 8, n. 20, p. 36-42. 1994.
- HOSSEINI, S. M. et al. Environmental risks posed by heavy metal contamination from mine waste: Case study from northwest Iran. **Human and ecological risk assessment: an international journal**, v. 24, n. 6, p. 1532-1549. 2018.
- KLEMIC, H.; JAMES, H. L.; AND EBERLEIN, G. D. **Iron**. In: D.A. Brobst and W.P. Pratt, eds. United States Mineral Resources Geological Survey Professional Paper 820. Washington: United States Government Printing Office. 1973.
- KOPEZINSKI, I. **Mineração x meio ambiente**: considerações legais, principais impactos ambientais e seus processos modificadores. 1. ed. UFRGS. 2000.
- LAMOSO, L. P. **A exploração de Minério de ferro no Brasil e no Mato Grosso do Sul**. Paco Editorial. 2015.
- LI, Z. et al. A review of soil heavy metal pollution from mines in China: Pollution and health risk assessment. **The Science of the Total Environment**, v. 468, p. 843-853. 2014.
- MILANEZ, B. O novo marco legal da mineração: contexto, mitos e riscos. In: MALERBA, J. et al. **Novo marco legal da mineração no Brasil**: Para quê? Para quem? Rio de Janeiro: FASE. 2012.
- MOREIRA, M. S. **Estratégia e implantação do Sistema de Gestão Ambiental (Modelo ISO 14001)**. Belo Horizonte. Editora DG, 2002.
- MORENO, E. L. **Propriedades de Catalisadores de Cobre Suportados em Aluminato de Zinco sob a Reação de Shift**. 1996. Dissertação de Mestrado, Instituto de Química, Universidade Federal da Bahia. 1996.
- OLIVEIRA, O. J.; PINHEIRO, C. R. M. S. Implantação de sistema de gestão ambiental ISO 14001: Uma contribuição da área de gestão de pessoas. **Gestão & Produção**, v. 17, n. 1, p. 51-61. 2010.
- PALHETA, J. M. et al. Conflitos pelo uso do território na Amazônia mineral. **Mercator**, v. 16. 2017.
- PFIFFER, E. A. **Adequação estratégica dos processos de fusões e aquisições no setor de minério de ferro**: Estudo de caso da Companhia Vale do Rio Doce. 2004. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica Do Rio De Janeiro. 2004.
- SAHOO, P. K. et al. Occurrence, distribution, and Environmental risk assessment of heavy metals in the vicinity of Fe-ore mines: a global overview. **Toxin Reviews**. 2021.



SAHOO, P. K.; EQUENUDDIN, S. M.; POWELL, M. A. Trace elements in soils around coal mines: current scenario, impact and available techniques for management. **Current pollution reports**, v. 2, n. 1, p. 1-14. 2016.

SILVA, L. A. et al. Cobre: produção industrial e aplicações. **Química Nova**, v. 42, n. 10, p. 1154-1161. 2019.

SILVA, R. R. R. **Interação entre surfactantes na flotação de minérios de ferro**. 2008. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da UFMG. Escola de Engenharia da UFMG. 2008.

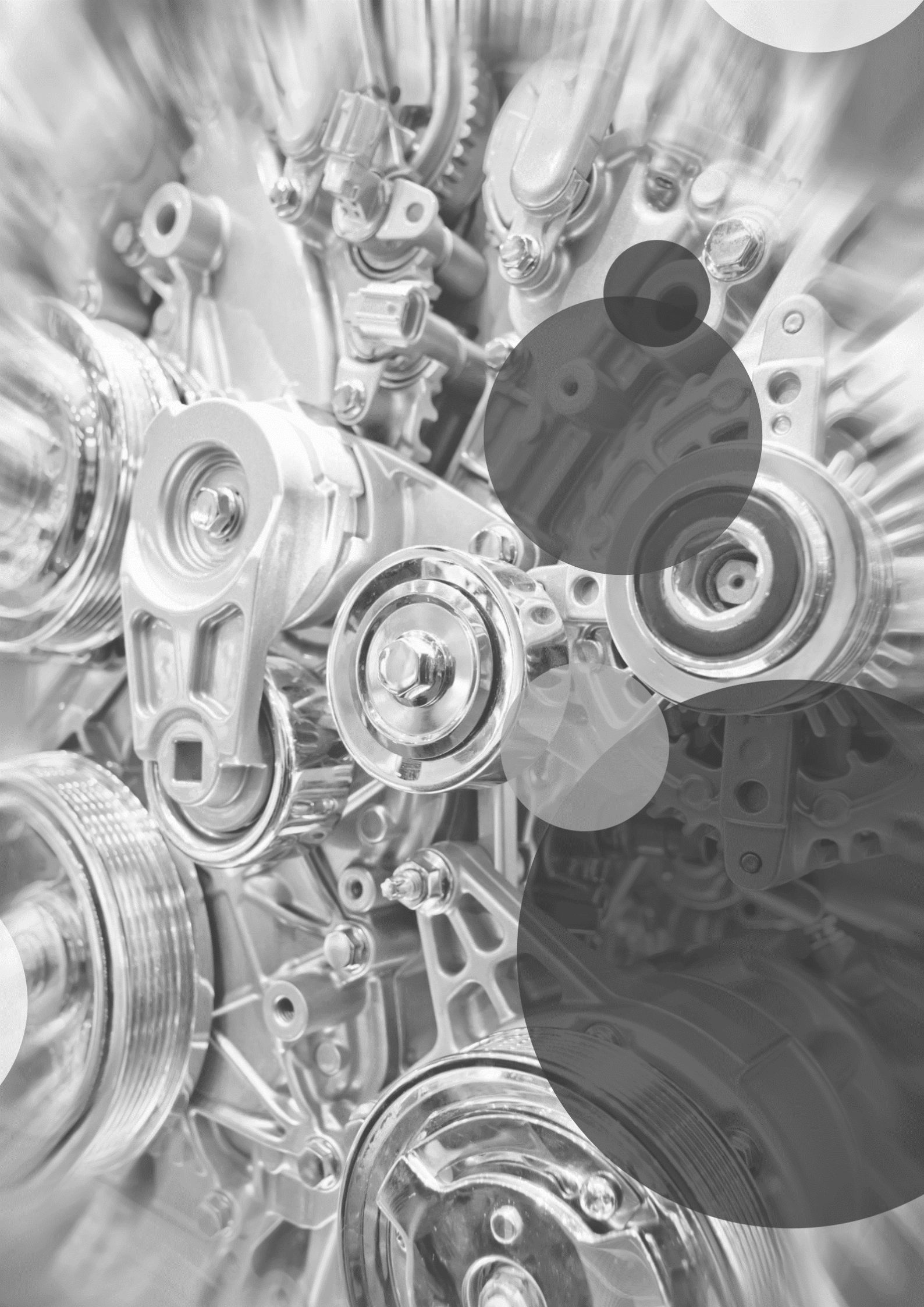
SKIRYCZ, A. et al. Canga biodiversity, a matter of mining. **Frontiers in plant science**, v. 5, p. 1-9. 2014.

TONIETTO, A. A valoração de danos nos casos de mineração de ferro no Brasil. **Revista Brasileira de Criminalística**, v. 1, n. 1, p. 31-38. 2011.

TR SUCATAS. **Reciclagem de Ferro e Aço**. Disponível em: <http://www.trsucatas.com.br/reciclagem-de-ferro-e-aco>. Acesso em 18 de maio de 2021.

VEIT, H. M.; BERNARDES, A. M.; BERTUOL, D. A.; OLIVEIRA, C. T. Utilização de processos mecânicos e eletroquímicos para reciclagem de cobre de sucatas eletrônicas. **Rem: Revista Escola de Minas**, v. 61, n. 2. 2008.

VINHA, V. **As empresas e o desenvolvimento sustentável: do eco-eficiência à responsabilidade social corporativa**. Rio de Janeiro, Elsevier. 2003.





AMPLLA
EDITORIA



9 786553 810211