



14
14 A

FILM NEGATIVE

FILM NEGATIVE

FILM NEGATIVE

FILM NEGATIVE

FILM NEGATIVE

Energias renováveis e
valorização de resíduos:

O CAMINHO PARA SUSTENTABILIDADE

2



2022

Milson dos Santos Barbosa
Luma Mirely de Souza Brandão
Danyelle Andrade Mota
Roger Goulart Mello
Organizadores



14

14 A

FILM NEGATIVE

FILM NEGATIVE

FILM NEGATIVE

FILM NEGATIVE

Energias renováveis e
valorização de resíduos:

O CAMINHO PARA SUSTENTABILIDADE

2



2022

Milson dos Santos Barbosa
 Luma Mirely de Souza Brandão
 Danyelle Andrade Mota
 Roger Goulart Mello
 Organizadores

2022 by Editora e-Publicar
Copyright © Editora e-Publicar
Copyright do Texto © 2022 Os autores
Copyright da Edição © 2022 Editora e-Publicar
Direitos para esta edição cedidos
à Editora e-Publicar pelos autores

Editora Chefe

Patrícia Gonçalves de Freitas

Editor

Roger Goulart Mello

Diagramação

Dandara Goulart Mello

Lidiane Bilchez Jordão

Roger Goulart Mello

Projeto gráfico e Edição de Arte

Patrícia Gonçalves de Freitas

Revisão

Os autores

**ENERGIAS RENOVÁVEIS E VALORIZAÇÃO DE RESÍDUOS: O CAMINHO PARA
A SUSTENTABILIDADE, VOLUME 2.**

Todo o conteúdo dos capítulos desta obra, dados, informações e correções são de responsabilidade exclusiva dos autores. O download e compartilhamento da obra são permitidos desde que os créditos sejam devidamente atribuídos aos autores. É vedada a realização de alterações na obra, assim como sua utilização para fins comerciais.

A Editora e-Publicar não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Conselho Editorial

Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade Federal de Santa Catarina

Alessandra Dale Giacomini Terra – Universidade Federal Fluminense

Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

Andrelize Schabo Ferreira de Assis – Universidade Federal de Rondônia

Bianca Gabriely Ferreira Silva – Universidade Federal de Pernambuco

Cristiana Barcelos da Silva – Universidade do Estado de Minas Gerais

Cristiane Elisa Ribas Batista – Universidade Federal de Santa Catarina

Daniel Ordane da Costa Vale – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Danyelle Andrade Mota – Universidade Tiradentes

Dayanne Tomaz Casimiro da Silva - Universidade Federal de Pernambuco

Deivid Alex dos Santos - Universidade Estadual de Londrina

Diogo Luiz Lima Augusto – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro

Edilene Dias Santos - Universidade Federal de Campina Grande

Edwaldo Costa – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo

Elis Regina Barbosa Angelo – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo

Érica de Melo Azevedo - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro

Ernane Rosa Martins - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Ezequiel Martins Ferreira – Universidade Federal de Goiás

Fábio Pereira Cerdera – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Francisco Oricelio da Silva Brindeiro – Universidade Estadual do Ceará

Glaucio Martins da Silva Bandeira – Universidade Federal Fluminense

Helio Fernando Lobo Nogueira da Gama - Universidade Estadual De Santa Cruz

Inaldo Kley do Nascimento Moraes – Universidade CEUMA



2022

Jaisa Klauss - Instituto de Ensino Superior e Formação Avançada de Vitória
Jesus Rodrigues Lemos - Universidade Federal do Delta do Parnaíba
João Paulo Hergesel - Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Jose Henrique de Lacerda Furtado – Instituto Federal do Rio de Janeiro
Jordany Gomes da Silva – Universidade Federal de Pernambuco
Jucilene Oliveira de Sousa – Universidade Estadual de Campinas
Luana Lima Guimarães – Universidade Federal do Ceará
Luma Mirely de Souza Brandão – Universidade Tiradentes
Marcos Pereira dos Santos - Faculdade Eugênio Gomes
Mateus Dias Antunes – Universidade de São Paulo
Milson dos Santos Barbosa – Universidade Tiradentes
Naiola Paiva de Miranda - Universidade Federal do Ceará
Rafael Leal da Silva – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Rodrigo Lema Del Rio Martins - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Willian Douglas Guilherme - Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

E56

Energias renováveis e valorização de resíduos: o caminho para a sustentabilidade, Volume 2 / Organizadores Milson dos Santos Barbosa, Luma Mirely de Souza Brandão, Danyelle Andrade Mota, Roger Goulart Mello – Rio de Janeiro: e-Publicar, 2022.

(Energias renováveis e valorização de resíduos, V. 2)

Livro em PDF

ISBN 978-65-5364-148-8

1. Sustentabilidade e meio ambiente. 2. Tecnologia. 3. Inovação. I. Barbosa, Milson dos Santos (Organizador). II. Brandão, Luma Mirely de Souza (Organizadora). III. Mota, Danyelle Andrade (Organizadora). IV. Mello, Roger Goulart (Organizador). V. Título.

CDD 363.7

Elaborada por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Editora e-Publicar

Rio de Janeiro, Brasil

contato@editorapublicar.com.br

www.editorapublicar.com.br



2022

APRESENTAÇÃO

É com grande satisfação que a Editora e-Publicar vem apresentar a obra intitulada “Energias renováveis e valorização de resíduos: O caminho para a sustentabilidade, Volume 2”. Neste livro engajados pesquisadores contribuíram com suas pesquisas. Esta obra é composta por capítulos que abordam múltiplos temas da área.

Desejamos a todos uma excelente leitura!

Editora e-Publicar

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	10
IMOBILIZAÇÃO DE ENZIMAS β -GLICOSIDASES E SUA UTILIZAÇÃO PARA APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS.....	10
DOI 10.47402/ed.ep.c202222381488	Rafaela Nascimento Faria Maíra Nicolau de Almeida
CAPÍTULO 2	29
IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO EM MATO GROSSO	29
	Maira Luiza Spanholi
CAPÍTULO 3	45
ANÁLISE DA VARIAÇÃO DOS ASPECTOS TEXTURAIIS DOS DEPÓSITOS MARINHO PRAIAL E EÓLICO NO LITORAL DE SANTA CATARINA, BRASIL.....	45
	Augusto Dietrich Schmitz Norberto Olmiro Horn Filho
CAPÍTULO 4	65
AVALIAÇÃO DA EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO E NÍVEIS DE RUÍDO EM 5 PONTOS NA CIDADE DE CAMPINA GRANDE- PB.....	65
	Silvia Noelly Ramos de Araújo Andreza Maia de Lima Júlia Soares Pereira Giliane Aparecida Vicente da Silva Souza Viviane Farias Silva Kalyne Sonale Arruda de Brito
CAPÍTULO 5	77
ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS OBTIDO DE DEJETOS SUÍNOS	77
DOI 10.47402/ed.ep.c202222425488	Cintia Cristina da Costa Freire Jefferson Cleriston Barros dos Santos Sandra Imaculada Maintinguer
CAPÍTULO 6	88
AVALIAÇÃO AMBIENTAL MACROSCÓPICA DAS NASCENTES DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO CACHIMBO EM PALMAS-TO	88
DOI 10.47402/ed.ep.c202222436488	Eduardo Silva Ries Girleene Figueiredo Maciel Roberta Araújo e Silva Eduardo Quirino Pereira Erich Collicchio

CAPÍTULO 7	107
ENERGIA SOLAR: VIABILIDADE ECONÔMICA E SUSTENTABILIDADE NO CONTEXTO DAS CIDADES INTELIGENTES.....	107
DOI 10.47402/ed.ep.c202222447488	Rosangela Leal Santos Kelly Cristina Ribeiro Marques Cardoso
CAPÍTULO 8	124
EXTRAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E TRANSESTERIFICAÇÃO DO ÓLEO DA PALMEIRA IMPERIAL (<i>Roystonea oleracea</i>)	124
DOI 10.47402/ed.ep.c202222458488	Daniel Seidel Coitinho da Silva Samuel José Santos Luiz Antonio Mazzini Fontoura
CAPÍTULO 9	139
OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BIODIESEL METÍLICO DERIVADO DE ÓLEO DE PEIXE	139
DOI 10.47402/ed.ep.c202222469488	Bruna Oliveira Gomes Samuel José Santos Luiz Antonio Mazzini Fontoura
CAPÍTULO 10	155
OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BIODIESEL METÍLICO DE ÓLEOS DE AVES	155
DOI 10.47402/ed.ep.c2022224710488	Carmem Lisandra Couto da Silva Samuel José Santos Lucas Matheus Porto Costa Luiz Antonio Mazzini Fontoura
CAPÍTULO 11	170
RESÍDUOS DE SERVIÇO DE SAÚDE: DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA SUA VALORIZAÇÃO	170
DOI 10.47402/ed.ep.c2022224811488	Maria Clara dos Santos Lopes Kátia Valéria Marques Cardoso Prates
CAPÍTULO 12	183
MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE: CONSIDERAÇÕES SOBRE OSEFEITOS DO CARBONO NO SOLO E AS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS.....	183
DOI 10.47402/ed.ep.c2022224912488	Kédima Ferreira de Oliveira Matos Nailton Santos de Matos
CAPÍTULO 13	193
PANORAMA DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS DOS TRATAMENTOS DE ESGOTO SANITÁRIO E DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	193
DOI 10.47402/ed.ep.c2022194013488	Larissa Jonaly Rodrigues Adriana Paula Ferreira Palhares

CAPÍTULO 14.....214
INFLUÊNCIA DA SECAGEM DOS RESÍDUOS DE GRAMA NA PRODUÇÃO DE
BIOGÁS COM A APLICAÇÃO DO PRÉ-TRATAMENTO ALCALINO.....214

DOI 10.47402/ed.ep.c2022225114488

Jhenifer Aline Bastos
João Henrique Lima Alino
Paula Verônica Remor
Thiago Edwiges

CAPÍTULO 15.....225
APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS NA PRODUÇÃO DE
CATALISADORES HETEROGÊNEOS BÁSICOS.....225

DOI 10.47402/ed.ep.c2022225215488

Taís Lima Sousa
Mariana Moreira Sidel Maia
José Sebastião Cidreira Vieira
Lina Maria Grajales Agudelo
Germildo Juvenal Muchave
Makson Rangel de Melo Rodrigues
Hugo da Costa Reis
Vandenilso Macêdo Cesário

CAPÍTULO 16.....243
INSTRUMENTOS NORMATIVOS QUE ORIENTAM ESTRATÉGIAS DE SEGURANÇA
HÍDRICA NA PARAÍBA.....243

DOI 10.47402/ed.ep.c2022225316488

Júlia Diniz de Oliveira
Raimundo Nonato Júnior
Marcos Vinicius da Silva Fernandes

CAPÍTULO 17.....252
PRODUTOS E VOLUMES TRANSPORTADOS NAS HIDROVIAS EUROPEIAS: SUAS
PRINCIPAIS ROTAS.....252

DOI 10.47402/ed.ep.c2022225417488

Império Lombardi
Itamar Bezerra dos Santos
João Víctor Bueno
Marco Aurélio da Silva
Moacir de Freitas Junior
Robson Elias Bueno

CAPÍTULO 1

IMOBILIZAÇÃO DE ENZIMAS β -GLICOSIDASES E SUA UTILIZAÇÃO PARA APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS¹

Rafaela Nascimento Faria
Maíra Nicolau de Almeida

RESUMO

Estratégias para o aproveitamento da biomassa lignocelulósica visando a produção de biocombustíveis vem sendo desenvolvidas nas últimas décadas devido à crescente demanda energética mundial. A possibilidade de transformação total da biomassa da cana em etanol, incluindo a biomassa lignocelulósica faz parte de uma estratégia de desenvolvimento verde e sustentável. Apesar de a estrutura da biomassa ser relativamente simples, a celulose não é um polímero facilmente degradável devido à sua alta cristalinidade e à necessidade de um sistema enzimático particular para sua degradação. A enzima β -glicosidase é importante para a hidrólise total da celulose, uma vez que promove a liberação do produto final, glicose, um açúcar fermentável. Uma alternativa para aumentar a eficiência da enzima e diminuir os custos do processo é a imobilização enzimática. Desse modo, nesse trabalho foram abordados a produção de etanol lignocelulósico, a importância da enzima β -glicosidase e as perspectivas sobre o uso da enzima imobilizada.

PALAVRAS-CHAVE: Enzima. Lignocelulose. Imobilização. Celulase.

1. PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

A bioeconomia é uma estratégia de desenvolvimento sustentável, definida como a produção de recursos renováveis, principalmente de origem biológica, aplicada na produção de produtos de alto valor agregado. Dentro desse processo, o uso de subprodutos como novas matérias-primas, evitando a geração de resíduos, aumenta e impulsiona os volumes de negócios, gerando ganhos financeiros. A bioeconomia também desempenha um papel importante na transição global de fontes fósseis de carbono para fontes renováveis e sustentáveis sob a perspectiva de uma economia circular (VANDENBERGHE *et al.*, 2022).

Neste contexto, os combustíveis de fontes renováveis, como o etanol são alternativas. A produção de combustível etanol, está totalmente estabelecida em escala industrial, sendo os principais produtores os Estados Unidos e o Brasil. A maioria do etanol produzido no mundo deriva da cana-de-açúcar e do milho, sendo o etanol obtido a partir destes materiais denominado etanol de primeira geração, etanol-1G. As fontes atuais como cana-de-açúcar e grãos de milho apresentam a desvantagem de serem itens utilizados para alimentação humana e de animais,

¹ Apoio: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e Universidade Federal de São João del-Rei

além de necessitarem de terras férteis e de uso de agrotóxicos para seu cultivo (HAHN-HÄGERDAL *et al.*, 2006; LIN; TANAKA, 2006).

A biomassa lignocelulósica apresenta enorme potencial para contribuir com esta tecnologia devido à grande disponibilidade e baixo custo da matéria prima. Em geral, as biomassas lignocelulósicas para a produção de etanol podem ser divididas em seis grupos: resíduos agroindustriais (bagaço de cana, resíduos de milho, palha de arroz, palha de trigo, sorgo entre outros); madeiras; resíduos de celulose (papéis de jornal, papéis de reciclagem); biomassas herbáceas (alfafa, *switchgrass*, entre outras plantas forrageiras); resíduos sólidos municipais. Estes resíduos são ricos em fibras que se forem processadas podem liberar açúcares fermentáveis para produção de etanol. O etanol produzido a partir deste tipo de biomassa é denominado etanol de segunda geração, etano-2G (CHAMPAGNE, 2007; BALAT, *et al.*, 2008). Hoje, a cana-de-açúcar, juntamente com algodão, soja, milho, trigo e arroz, dominam as culturas. De acordo com a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), a produção anual de cana-de-açúcar é de 1,89 bilhão de toneladas em uma área de 27.000.000 ha. A exploração da cana-de-açúcar é um dos casos de maior sucesso da biorrefinaria, uma vez que agrupa três grandes produtos comercializáveis, açúcar, etanol e bioeletricidade, além de sua grande diversidade de subprodutos derivados. A cogeração de subprodutos, como queima de bagaço, açúcar comestível e produção de etanol-1G a partir do caldo de cana, são autossuficiência energética, permitindo que as unidades produtoras comercializem o excedente da produção de bioeletricidade. Outros bioprodutos, como CO₂, melação, vinhaça, biogás e outros podem ampliar a gama de produtos. Isso também contribui para maior sustentabilidade ambiental e econômica das usinas tradicionais de cana-de-açúcar, incluindo produtos de valor agregado a partir de resíduos líquidos e sólidos da cana-de-açúcar. O bagaço e palha da cana-de-açúcar é usado para produção de etanol-2G, tendo ganhado cada vez mais importância na última década. Em 2017, 67 biorrefinarias foram identificadas no mundo, produzindo etanol-2G a partir do bagaço de cana-de-açúcar. No Brasil, o maior caso de sucesso é a empresa Raízen, que produz etanol-1G e etanol-2G em escala industrial. Além disso, a empresa utiliza resíduos como vinhaça e torta de filtro para produzir biogás, podendo obter biometano e bioeletricidade como produtos finais (VANDENBERGHE *et al.*, 2022).

2. BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA

A biomassa lignocelulósica é o principal recurso renovável disponível no meio ambiente. É composta por microfibrilas de celulose inseridas em uma matriz de hemicelulose, pectina, lignina e uma pequena quantidade de proteínas estruturais. A composição das

biomassas que possivelmente podem ser utilizadas para a produção de etanol é muito variável. A tabela 1 mostra a composição média de alguns resíduos lignocelulósicos.

Tabela 1: Composição média de algumas biomassas com potencial para serem utilizadas na produção de bioetanol.

Biomassa	Composição da Biomassa (% base seca)				
	Açúcares	Celulose	Hemicelulose	Lignina	Outros
Bagaço de cana	3	38	27	20	12
Melaço de cana	61	-	-	-	39
Folhas de cana	-	36	21	16	27
Capim Napier	-	32	20	9	39
Sorgo Sacarino	34	36	16	10	3
<i>Eucalyptus grandis</i>	-	38	13	37	12
<i>Eucalyptus saligna</i>	-	45	12	25	18
Lixo urbano	-	33	9	17	41
Folhas de jornal	-	62	16	21	1

Fonte: (SAXENA; ADHIKARI; GOYAL, 2009).

A celulose é um homopolissacarídeo composto por resíduos de β -D-glicopiranos ligados entre si por ligações (1-4) glicosídicas. Os modelos atuais da organização microfibrilar sugerem que ela tem uma subestrutura constituída de domínios altamente cristalinos unidos por ligações amorfas (BUCHANAN *et al.*, 2000). Para a degradação completa da celulose são necessárias as atuações sinérgicas de quatro tipos de celulasas. As endoglicanases (1,4- β -D-glicana-4-glicanohidrolase; EC 3.2.1.4) hidrolisam ligações β - (1,4) internas da celulose. As celobiohidrolases (1,4- β -D-glicana celobiohidrolase; EC 3.2.1.91), que são exocelulasas. Este grupo degrada celulose por remoção consecutiva de celobiose dos terminais não redutores do polissacarídeo. As exoglicohidrolases (1,4- β -D-glicana glicobiohidrolase, EC 3.2.1.74), que hidrolisam consecutivamente a remoção de unidades de glicose de terminais não redutores de celodextrinas. E finalmente as β -glicosidases, ou celobiasas, (β -D-glicosideoglicohidrolase; EC 3.2.1.21) que clivam celobiose em glicose e removem glicose de terminais não redutores de pequenas celodextrinas. As β -glicosidases têm um papel fundamental para a degradação de materiais lignocelulósicos. A celobiose, principal substrato para a β -glicosidase é um potente inibidor de exocelulasas, portanto a ausência dessa enzima diminui o potencial do processo de sacarificação de biomassas (WHITAKER, 1994).

As hemiceluloses, também chamadas de glicanas de ligação cruzada, são constituídas por principalmente pelos açúcares D-glicose, D-manose, D-galactose, D-xilose, L-arabinose e D-ácido glicurônico. No geral, as hemiceluloses apresentam um baixo grau de polimerização (média de 100 - 200) e a qualidade e quantidade de açúcares presentes em sua composição depende do tipo de parede celular. Estes polímeros são classificados de acordo com sua composição, por exemplo, galactoglicomanana (heteropolímero de galactose, glicose e manose)

arabinoglicuronoxilana (polímero de xilose com ramificações de ácido D-glucurônico ou arabinose), arabinogalactana (heteropolímero de arabinose e galactose), glicomanana (heteropolímero de glicose e manose), etc (SAHA, 2000).

Para a sua hidrólise é necessário um conjunto de enzimas que depende de quais açúcares estão presentes na biomassa. Para degradação de xilanas em geral são necessárias basicamente sete enzimas diferentes. Endo-1,4- β -D-xilanases (EC 3.2.1.8) são enzimas que clivam aleatoriamente o esqueleto de xilana produzindo principalmente oligossacarídeos de xilose. É uma das principais enzimas envolvidas na degradação deste polímero. β -xilosidases (EC 3.2.1.37) catalisam a hidrólise de xilooligossacarídeos e xilobiose a partir de terminais não redutores liberando xilose (COLLINS; GERDAY; FELLER, 2005; SAHA, 2003).

A remoção das cadeias laterais deste polímero requer a enzima específica para o grupo a ser hidrolisado. α -L-Arabinofuranosidase, E.C. 3.2.1.55, é uma exoenzima que hidrolisa terminais não redutores de polissacarídeos contendo resíduos L-arabinosil de cadeias laterais ou de arabinoxilanas, arabinana, goma arábica e arabinogalactana. α -Galactosidases (EC 3.2.1.22) removem resíduos ligados por α -(1,6) e α -(1,3) além de atuar juntamente com manosidases, mananases e outras enzimas para degradação de polímeros como arabinogalactana e galactoglicomanana. Outras enzimas acessórias são α -D-glicuronidases (EC 3.2.1.139), que hidrolisam resíduos laterais de ácido glicurônico, acetilxilana esterases (EC 3.1.1.72), que hidrolisam grupos acetil e ácido ferúlico esterases (EC 3.1.1.73), hidrolisam resíduos de ácido ferúlico (JEFFRIES, 1994; SAHA, 2000).

A lignina é um heteropolímero amorfo formado por fenilpropanóides (p-coumaril álcool, coniferil álcool e sinapil álcool). As funções da lignina estão relacionadas a questões estruturais, impermeabilização do tecido vegetal, resistência ao ataque de insetos e microrganismos e proteção contra o estresse oxidativo. O complexo formado por lignina, celulose e hemicelulose é denominado lignocelulose. A lignina é extremamente recalcitrante e sua presença no tecido vegetal é um dos maiores entraves para o processo de solubilização da biomassa. A hidrólise da lignina, diferentemente da hidrólise de celulose e hemicelulose, é realizada por oxidases. As enzimas que hidrolisam a lignina são as lacases, manganês peroxidase e lignina peroxidase. Essas enzimas são produzidas principalmente por fungos de podridão branca (SUHAS *et al.*, 2007; TUOMELA *et al.*, 2007.).

A produção de etanol a partir de biomassa é baseada na solubilização dos componentes citados (lignocelulose) em açúcares fermentáveis. O processo de produção de etanol a partir de biomassa pode ser dividido em três etapas críticas: pré-tratamento, sacarificação e fermentação.

O pré-tratamento da biomassa é um passo fundamental que tem o objetivo de desestruturar a parede celular da biomassa, reduzindo o teor de lignina, aumentando a porosidade do material e rompendo as cadeias de celulose (redução da cristalinidade e grau de polimerização) (BALAT; BALAT; ÖZ, 2008; HAHN-HÄGERDAL *et al.*, 2006). A moagem é um pré-tratamento mecânico que tem por objetivo reduzir o tamanho das partículas e a cristalinidade da celulose. A moagem promove um grande aumento na superfície específica da biomassa com uma concomitante redução no grau de polimerização de seus constituintes (JONKHEIJM *et al.*, 2008; KUMAR *et al.*, 2009).

O pré-tratamento ácido é uma das alternativas mais utilizadas para se promover modificações na biomassa e podem ser executados em condições de temperatura ambiente ou temperatura moderada. Os tratamentos ácidos podem ser realizados em altas ou baixas concentrações de diferentes ácidos como HCl, H₂SO₄, ácido nítrico e ácido fosfórico. O principal efeito dos tratamentos ácidos é promover a degradação de hemicelulose. A celulose também pode ser clivada em alguns pontos de sua estrutura durante o tratamento ácido o que provoca redução de sua cristalinidade e redução no grau de polimerização. O grande inconveniente dos tratamentos ácidos é a geração de derivados de furano e de ácidos alifáticos de cadeias curtas, os quais inibem a fermentação (JONKHEIJM *et al.*, 2008; KUMAR *et al.*, 2009).

Tratamentos alcalinos são realizados utilizando soluções diluídas de NaOH e KOH sob condições de temperatura ambiente ou em autoclave (121 °C). Tratamentos alcalinos promovem um aumento na digestibilidade da biomassa e os resíduos vegetais de natureza herbácea geralmente são mais suscetíveis a este tipo de tratamento do que os resíduos derivados de materiais lenhosos. Os efeitos do tratamento alcalino sobre a biomassa incluem inicialmente a solvatação e a saponificação dos seus componentes por meio da clivagem de ligações ésteres existentes entre as cadeias de polímeros hemicelulósicos (principalmente xilanas) e a lignina. A eliminação das ligações cruzadas entre diferentes componentes da hemicelulose e entre a hemicelulose e a lignina favorece o aumento da porosidade na biomassa. Além disto, nota-se que os tratamentos alcalinos promovem um “inchaço” das cadeias celulósicas e isto provoca a redução da cristalinidade e aumenta a porosidade entre as cadeias do polímero. A lignina é moderadamente alterada durante os tratamentos alcalinos observando-se a solubilização e a

oxidação de seus componentes e isto também contribui para um aumento no rendimento do processo de sacarificação subsequente (JONKHEIJM *et al.*, 2008; KUMAR *et al.*, 2009).

A hidrólise ou sacarificação enzimática é realizada após o pré-tratamento e consiste na adição de coquetéis de enzimas celulases e hemicelulases para obtenção de açúcares fermentáveis. Alguns gargalos da sacarificação enzimática é o alto custo e baixa estabilidade das enzimas. Também deve ser considerado que a natureza recalcitrante da biomassa lignocelulósica é um desafio do processo. Dentre as características da biomassa que diminuem o rendimento da sacarificação enzimática pode-se citar a alta cristalinidade da celulose e seu alto grau de polimerização; a baixa superfície específica da biomassa, sua baixa porosidade e seu alto teor de lignina. Desta forma, torna-se necessário que a biomassa passe por algum processo de pré-tratamento físico, químico ou físico-químico de maneira que se minimizem estes fatores limitantes (BALAT; BALAT; ÖZ, 2008; HAHN-HÄGERDAL *et al.*, 2006).

3. ENZIMAS β -GLICOSIDASES

Dentre as celulases necessárias para a sacarificação enzimática a enzima β -glicosidase atua na etapa final da hidrólise, removendo a molécula inibidora, celobiose e produzindo glicose. Essas enzimas são encontradas em como bactérias, animais e plantas; sua principal função é a remoção de resíduos glicosil terminais não redutores por meio da hidrólise de ligações β -glicosídicas de celobioses (CAIRNS; ESEN, 2010; KOROTKOVA *et al.*, 2009; SHARMA *et al.*, 2016).

A enzimas são agrupadas em famílias de acordo com suas sequências de aminoácidos. As famílias que possuem estruturas de domínio catalítico semelhantes sugerem mecanismos catalíticos comuns (CAIRNS; ESEN, 2010). β -glicosidases pertencem às famílias 1, 3, 9, 30 e 116 das glicosídeo hidrolases, mas a maioria dessas enzimas microbianas que são utilizadas no processo de sacarificação da celuloses pertencem à família 3 (ANDRADE, 2009). A família GH1 engloba a maior parte de β -glicosidases até então caracterizadas. Um dos fatores limitantes para o processo de hidrólise enzimática da celulose é o fato do produto da reação de hidrólise, a glicose, agir também como inibidor do processo e esse efeito aumenta com o seu acúmulo ao decorrer do processo. No processo de hidrólise enzimática, a insuficiência de atividade da β -glicosidase causa acúmulo de celobiose, desse modo as atividades de outras enzimas do complexo enzimático celulase é inibida e o processo é prejudicado (CAIRNS; ESEN, 2010; JENG *et al.*, 2011).

A hidrólise da lignocelulose é dificultada por conta da forte associação da celulose com lignina e hemicelulose (BUSTO; ORTEGA, 1905). Por conta disso, a conversão da celulose em glicose se dá pela atividade sinérgica de três tipos de celulases: endo- β -1,4-glucanase, celobiohidrolases e β -glicosidases. Endo- β -1,4-glucanase, celobiohidrolases respectivamente clivam aleatoriamente a cadeia de celulose e removem sucessivamente unidades de celobioses, por fim vem o trabalho de β -glicosidases que hidrolisam unidades de celobioses em moléculas glicose (Figura 1) (AGULAR; FERRAZ, 2011; JENG *et al.*, 2011).

Nos organismos as β -glicosidases desempenham diversas funções, dentre elas a conversão de biomassa em insumos energéticos, decomposição de glicolípídeos e glicosídeos, catabolismo de oligossacarídeos da parede celular, ativação do fitohormônio celular, como exemplo a isoflavona presente na soja, e hidrólise de grande quantidade de precursores de aromas glicosídicos (CAIRNS; ESEN, 2010).

Dentre as aplicações biotecnológicas dessas enzimas encontra-se a desintoxicação de alimentos, conversão de biomassa, aumento de sabor em vinhos e outras bebidas, conversão dos glicosídeos de isoflavonas em sua forma aglicônica, produção de etanol combustível a partir de resíduos agrícolas (MAITAN-ALFENAS *et al.*, 2014). Além de ser utilizada nos processos biotecnológicos citados anteriormente, as β -glicosidases também podem ser utilizadas como suplementação de coquetéis enzimáticos tornando processos industriais de maior viabilidade econômica (DE ANDRADE *et al.*, 2017).

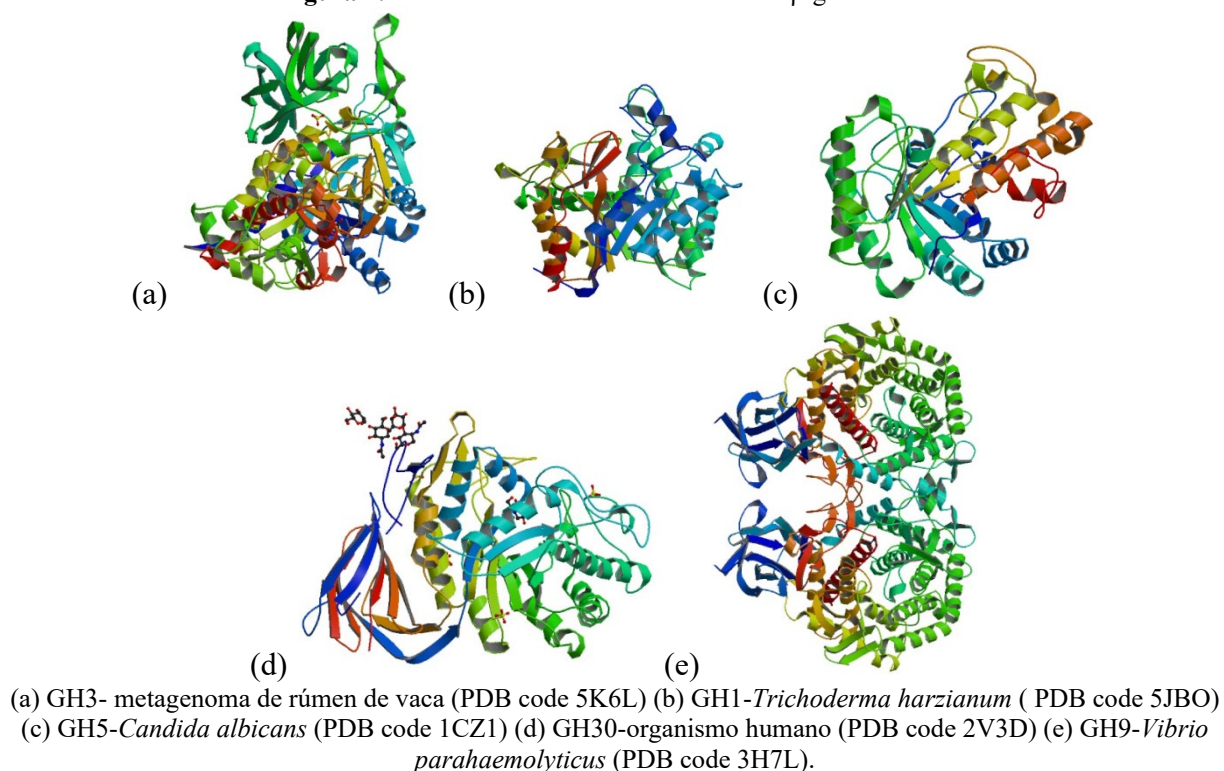
3.1. Estrutura das B-Glicosidases

As β -glicosidases são um grupo heterogêneo de glicosil-hidrolases do tipo *exo*, enzimas da família GH1 de glicosil-hidrolases se dobram em uma estrutura de 8 barris (β/α) (JENG *et al.*, 2011). Existem várias estruturas conhecidas de β -glicosidases, porém o domínio catalítico é semelhante e definido por cada família GH. Em alguns casos, como por exemplo nas famílias GH1, GH5 e GH30 o número de domínios que contribuem para o sítio ativo é maior, diferente por exemplo da família GH3 que apenas dois domínios contribuem para o sítio ativo (CAIRNS; ESEN, 2010).

No clã GH as enzimas das famílias GH1, GH5 e GH30 apresentam em comum uma estrutura com 8 barris (β/α) e seus sítios ativos contém dois resíduos de ácido carboxílico conservados nos filamentos β 4 e 7, servindo como ácido catalítico e base nucleofílica, respectivamente. Os comprimentos e massas das unidades das enzimas GH1 variam consideravelmente de acordo com a presença de domínios auxiliares, o próprio domínio

catalítico varia de 440 a 550 resíduos. Esses monômeros formam uma ampla variedade de estruturas quaternárias, incluindo enzimas monoméricas, dímeros, tetrameros, hexâmeros, octâmeros e agregados grandes. No caso da família GH3, as β -glicosidases apresentam dois domínios na estrutura, também com 8 barris(β/α), o sítio ativo dessas enzimas encontra-se entre (β/α)₈ e (β/α)₆ e cada um deles contribuem para um resíduo catalítico carboxilato. Algumas enzimas da família GH9 também foram observadas como β -glicosidases, sendo que nesse caso apresentam 6 barris(β/α) (JENG *et al.*, 2011). Algumas estruturas de β -glicosidases estão ilustradas na Figura 1.

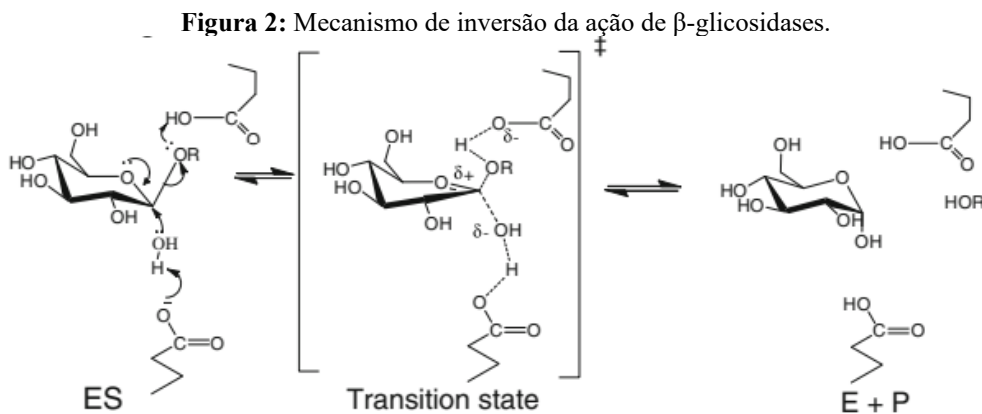
Figura 1: Estruturas observadas de famílias de β -glicosidases.



Fonte: BERMAN, *et al.*, 2000.

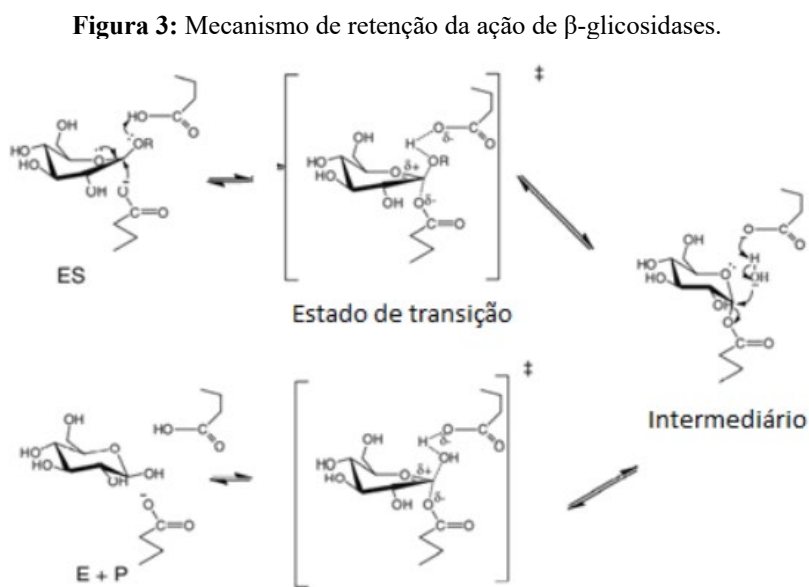
3.2. Mecanismo De Ação Catalítica

Os mecanismos de ação de hidrolases glicosídicas podem ser por inversão ou retenção de quiralidade no carbono anomérico. Nesses mecanismos, um par de resíduos ácidos e nucleofílicos em cada lado do açúcar é utilizado para fazer com que a molécula de água se encaixe entre a base catalítica e o substrato. No mecanismo inversor, que acontece com a minoria das enzimas β -glicosidases já caracterizadas, a molécula de água ativada é responsável pelo ataque nucleofílico no carbono anomérico, desse modo a aglicona é deslocada em apenas uma etapa (Figura 2) (CAIRNS; ESEN, 2010).



Fonte: (CAIRNS; ESEN, 2010).

No processo de retenção a base catalítica extrai um próton da molécula de água e o ácido catalítico protona o grupo de saída. Para que ocorra a glicosilação a aglicona doa um próton do ácido/base catalítico e o nucleófilo catalítico ataca no carbono anomérico produzindo um intermediário enzima-glicona. Na desglicosilação, a molécula de água ataca deslocando ao nucleófilo catalítico da glicose, revertendo o processo (Figura 3) (CAIRNS; ESEN, 2010).



Fonte: (CAIRNS; ESEN, 2010).

4. IMOBILIZAÇÃO ENZIMÁTICA

O desempenho das enzimas na sacarificação de biomassa é um processo complexo que depende de vários fatores como estabilidade térmica e em pH, inibição da enzima pelo seu produto, sinergismo entre as enzimas, ligação produtiva à celulose. Além disso, também influenciam muito a natureza da biomassa e o pré-tratamento a que a mesma foi submetida. Em condições experimentais leves de pH, temperatura e pressão as enzimas livres apresentam grande eficiência de catalisação, porém quando é levado em consideração a termoestabilidade e reutilização a eficiência não é a mesma. Por conta da especificidade do substrato, baixa

toxicidade e ausência de produtos indesejáveis, biocatalisadores competem com catalisadores químicos na indústria, mesmo com limitações (ALTINKAYNAK *et al.*, 2016). O estudo da imobilização enzimática se deu como alternativa para solucionar ou minimizar diversos problemas limitantes para aplicação industrial da biocatálise, como por exemplo a limitação de recuperação, reutilização e a falta de estabilidade térmica e estrutural quando considerado atividades de longo prazo (DA GONÇALVES; MARSAIOLI, 2013).

O termo imobilização se refere a limitação de movimento da enzima, tendo em vista que a ligação de enzimas livres com o suporte limita sua mobilidade. Os primeiros estudos sobre imobilização enzimática surgiu em 1971 e atualmente essa tecnologia já é considerada de grande importância para ciência biomédica e biotecnologia por conta do sucesso obtido na imobilização de moléculas como drogas, proteínas, peptídeos, DNA e extratos de plantas (ALTINKAYNAK *et al.*, 2016).

O processo de imobilização enzimática é utilizado como ferramenta para facilitar o manuseio da enzima, gerando várias vantagens como, material de fácil separação para reaproveitamento, maior produtividade do catalisador, menor probabilidade de contaminação e maior estabilidade operacional (SHELDON, 2007).

Dentre os obstáculos encontrados para imobilização enzimática encontram-se o alto custo do suporte, perda da atividade catalítica após a imobilização por conta de limitações de transferência de massa entre a enzima e o substrato e mudança da conformação da enzima afetando o seu sítio ativo (HANEFELD *et al.*, 2013).

Dentre as características que o suporte de imobilização deve apresentar para que o processo seja eficiente, encontram-se: insolubilidade em água, ser inerte quimicamente e fácil interação com a enzima em estudo (TRISTÃO *et al.*, 2017). Para alcançar o sucesso na imobilização a técnica de fixação deve ser escolhida com o propósito de manter a atividade enzimática, já que a mesma pode ser afetada por conta da funcionalidade delicada, estrutura frágil sensível às condições ambientais, sofrendo alterações conformacionais que podem bloquear o acesso do substrato aos locais ativos (JENG *et al.*, 2011; HANEFELD *et al.*, 2013; SHELDON, 2007). Em superfície metálica as enzimas geralmente mostram forte estabilidade, mostrando grande afinidade quando íons metálicos são utilizados como cofatores (JIA; NARASIMHAN; MALLAPRAGADA, 2014). A imobilização de uma única enzima pode ser estudada com base na fixação, dessorção e espalhamento na superfície. Estudos mostraram que superfícies hidrofóbicas são mais eficientes para manter a função das enzimas, uma vez que

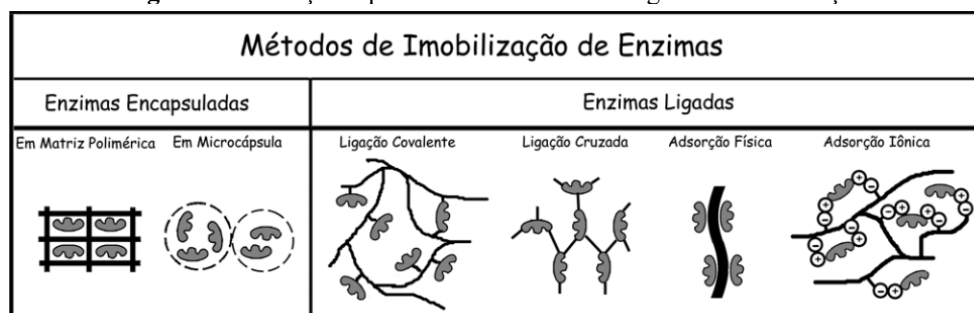
superfícies hidrofílicas podem causar o desdobramento da enzima, afetando seu sítio ativo. Porém, superfícies hidrofílicas são melhores quando se trata de propagação, isso é uma vantagem quando considerado a irreversibilidade do processo.

No caso de uma mistura de enzimas a interferência do suporte na conformação das enzimas ainda é pouco compreendida por conta da variabilidade entre as enzimas de tolerância à métodos específicos conseqüente da variação de estrutura e função (HIRSH *et al.*, 2010). Outro obstáculo encontrado para imobilização de misturas enzimáticas é a capacidade do suporte de transportar grandes cargas, além do controle das posições relativas de várias enzimas na superfície do suporte (JIA; NARASIMHAN; MALLAPRAGADA, 2014).

4.1. Tipos De Imobilização

A imobilização enzimática se dá por diferentes tipos de interações entre as enzimas e os suportes transportadores, existem diferentes metodologias para realização do processo de imobilização enzimática: adsorção física e química, imobilização por confinamento em matriz ou microcápsula e ligação cruzada (Figura 4) (CARDOSO; DE MORAES; CASS, 2009).

Figura 4: Ilustração representativa das metodologias de imobilização.



Fonte: (CARDOSO; DE MORAES; CASS, 2009).

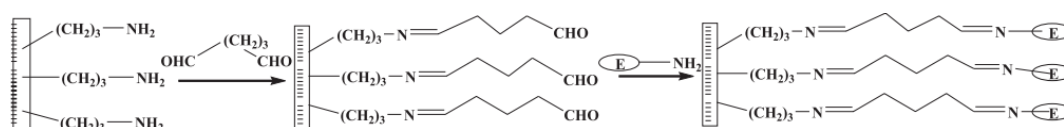
A ligação ao suporte pode acontecer por interação física, iônica ou covalente. As ligações física e iônica não são muito eficientes em condições agressivas e estão sujeitas a lixiviação quando aplicada em processos industriais, nesse caso é mais conveniente a utilização da ligação covalente, que é mais forte e evita esse tipo de problema (SHELDON, 2007).

Na ligação suporte por adsorção física as interações químicas presentes são de Van der Waals, hidrofóbicas e ligações de hidrogênio, nesse tipo de imobilização o suporte insolúvel se encontra em meio aquoso e a enzima fica retida na superfície do suporte, a grande vantagem desse processo é pouca perturbação na estrutura da enzima, causando menos danos aos seus sítios ativos e conseqüentemente menor interferência na atividade catalítica, porém a dessorção da enzima pode acontecer facilmente (BICKERSTAFF, 2003).

Quando a imobilização ocorre por adsorção iônica são estabelecidas atrações eletrostáticas por conta das cargas opostas presentes na enzima e no suporte, esse processo é mais eficiente quando comparado a adsorção física, porém o índice de dessorção da enzima ainda é alto quando comparado com outras metodologias facilmente (BICKERSTAFF, 2003).

Outra maneira de interação entre o suporte e a enzima é a ligação por interação covalente os aminoácidos localizados na superfície externa da estrutura da proteína são pontos de ligação entre a enzima e o suporte, realizando ligação amida, resultante da interação entre os grupos amina presente nas enzimas e grupos carboxila presentes no suporte transportador. A ligação também pode ser feita pela reação entre os grupos amina com grupos epóxi e aldeído do suporte. Além da ligação pelo grupo amina presente nas enzimas, essa interação pode acontecer por conta de grupos carboxilas presente nos aminoácidos, que reagem com grupos amina de transportadores, ou ligações dissulfeto internas (BETANCOR *et al.*, 2006; JONKHEIJM *et al.*, 2008). No procedimento de imobilização por ligação covalente os grupos funcionais do suporte (aminoalquila, aminoarila, 3-glicidoxipropilcarboxila, etc) geralmente são ativados com a introdução de um grupo carbonila, normalmente se utiliza glutaraldeído como ativador, esse processo facilita a interação do suporte com os grupos funcionais da enzima (Figura 5) (MROCZKIEWICZ *et al.*, 2012).

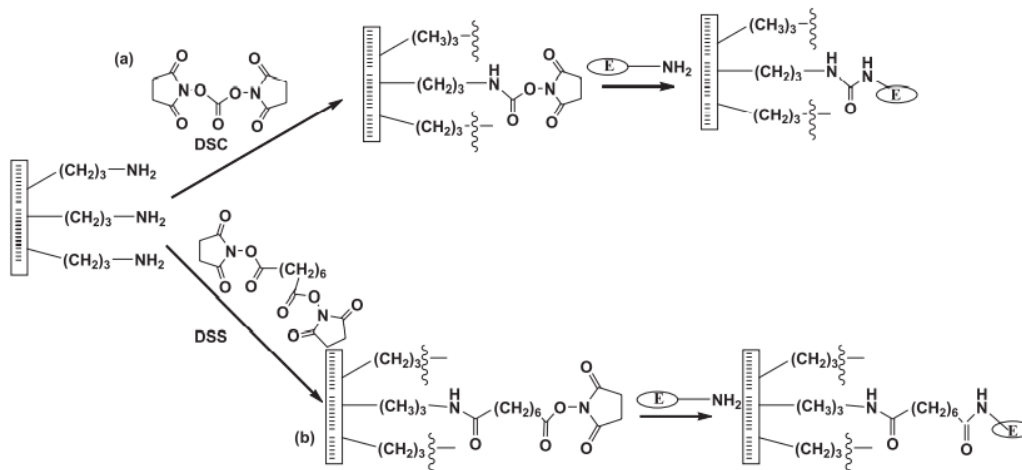
Figura 5: Processo de ativação com glutaraldeído.



Fonte: (CARDOSO; DE MORAES; CASS, 2009).

Suportes aminopropilados podem dificultar a interação entre o suporte e a enzima por conta de grupos imino presentes, nesse caso elimina-se os grupos imino utilizando-se carbonato de N-N'-disuccinimidila (DSC) ou suberato N-N'-disuccinimidila (DSS) como ativadores, outra alternativa é a introdução de longas cadeias carbônicas entre o suporte e a enzima (Figura 6) (MROCZKIEWICZ *et al.*, 2012).

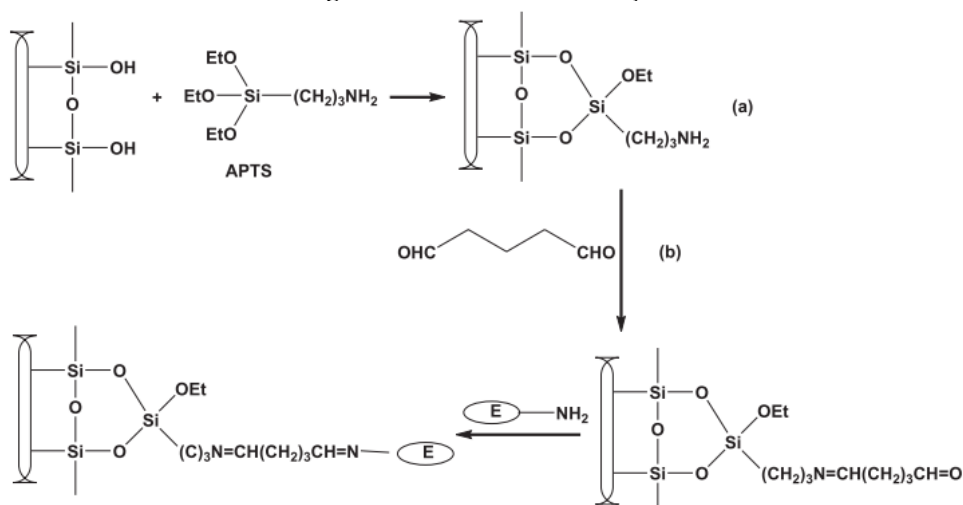
Figura 6: Ativação com DSC (a) e DSS (b).



Fonte: (Cardoso *et al.*, 2009).

Para introdução de um espaçador entre a enzima e o suporte realiza-se a silanização, normalmente o reagente silanizante utilizado é o 3-aminopropiltriétoxissilano (APTS), que reage com grupos hidroxilas ou silanóis do suporte e desse modo grupos aminopropila possuem a função de imobilização da enzima (Figura 7) (CARDOSO; DE MORAES; CASS, 2009).

Figura 7: Processo de silanização.



Fonte: (CARDOSO; DE MORAES; CASS, 2009).

Uma desvantagem da ligação covalente é a possibilidade de desativação irreversível da enzima durante o processo de imobilização, gerando prejuízo econômico uma vez que acontece a perda da enzima e do suporte que geralmente são de alto custo (SHELDON, 2007).

Outra metodologia utilizada é a imobilização por aprisionamento que ocorre dentro de uma rede polimérica ou de gel, nesse processo a enzima está presente no meio durante a síntese do material de suporte, e dessa forma ela é aprisionada por gelificação ou reticulação, a vantagem desse processo é o bloqueio de escape da enzima e a geração de poucas restrições

físicas uma vez que a porosidade da matriz permite o livre movimento do substrato e do produto, geralmente esse processo é adequado para enzimas que sofrem desativação por imobilização covalente, uma vez que essa metodologia não envolve a modificação estrutural da enzima. Na gelificação os solventes são removidos e no caso da reticulação a reação é dada por iniciadores químicos ou à base de irradiação fotográfica, polimerizando os monômeros (KUDAIBERGENOV; NURAJE; KHUTORYANSKIY, 2012). Essa técnica de imobilização também pode ser realizada em microcápsula, onde a enzima é envolvida por micelas reversas formadas por surfactantes ou membranas semipermeáveis, permanecendo livre em solução, porém em um espaço restrito (BICKERSTAFF, 2003).

A reticulação de cristais, que também pode ser chamada de agregado de enzimas também é uma opção de metodologia de imobilização. Essa metodologia consiste na ligação cruzada entre as próprias enzimas ou em proteínas inativas (gelatina, albumina), que da origem a uma estrutura tridimensional complexa. Essa metodologia de imobilização é favorecida pela utilização de reagentes bi ou multifuncionais. Uma grande vantagem desse processo é a ausência do suporte, que resulta na diminuição da probabilidade de redução da atividade enzimática, maior viabilidade econômica e maior rendimento do processo (SHELDON, 2007).

4.2. Efeitos da imobilização da enzima

Por conta da interferência do suporte algumas propriedades físicas e químicas da proteína são afetadas quando comparadas com propriedades da sua forma livre em solução, como: modificação conformacional por conta da interferência na estrutura terciária do sítio ativo, eventual falta de acesso ao sítio ativo por conta da posição de imobilização, resistência de difusão do substrato até o sítio catalítico da enzima, e por fim menor acesso a reagentes desnaturantes e ataque de micro-organismo e conseqüentemente maior estabilidade. O nível de estabilidade da biomolécula imobilizada é dado de acordo com o número e natureza das ligações formadas entre a enzima e o suporte, condições de imobilização e grau de confinamento, algumas técnicas utilizadas para o aumento da estabilidade é a imobilização multipontual e introdução de espaçadores (MONSAN; COMBES, 1988).

4.3. Imobilização de B-Glicosidases

Existem estudos que avaliam a imobilização de enzimas celulasas para diminuir os custos e aumentar a eficiência da produção de etanol-2G. Em alguns trabalhos as enzimas são imobilizadas isoladamente ou em conjunto. Imobilização de mais de uma Ccelulase para aplicação na sacarificação de biomassa lignocelulolítica foi realizada por Moraes Junior e

colaboradores (MORAIS JÚNIOR *et al.*, 2021). Neste trabalho, endoglicanase foi imobilizada em nanopartículas magnéticas recobertas por dextrana e a beta-glicosidase foi imobilizada em glioxil agarose. Ambas foram aplicadas para sacarificação de bagaço de cana obtendo um rendimento de 38 % de hidrólise da celulose.

Um aspecto limitante no uso de celulases imobilizadas é a baixa acessibilidade ao substrato devido ao fato de ser um polímero. Neste contexto a utilização de β -glicosidases imobilizadas pode ser mais bem sucedida do que a utilização do conjunto celulolítico, visto que seus substratos (celobiose e celodextrinas) são açúcares solúveis e, portanto sofrem pouco efeito negativo da difusão. Devido a esses fatores uma vasta literatura é encontrada a respeito da imobilização dessas enzimas.

Chen e colaboradores imobilizaram β -glicosidases comerciais em nanopartículas magnéticas de Fe_3O_4 acopladas à agarose. A enzima imobilizada apresentou maior poder hidrolítico que a enzima livre e maior termoestabilidade (CHEN *et al.*, 2014). Wang e seus colaboradores (WANG *et al.*, 2010) estudaram a imobilização de celobiase por um suporte derivado de sílica, chamado pelos autores de CSMN de “Core shell magnetite nanoparticle”. Este suporte foi sintetizado ativando a sílica com uma solução de FeCl_3 e FeSO_4 e dissolvida em alguns compostos derivados de nitrogênio. Diferentemente do que normalmente é observado, a temperatura ótima e pH ótimo não foram muito alterados, entretanto a termoestabilidade foi significativamente aumentada para a enzima imobilizada.

Em outro estudo β -glicosidase foi imobilizada em Eupergite C e avaliada quanto à hidrólise de biomassas. A enzima imobilizada apresentou acentuado aumento na estabilidade térmica a 65 °C em relação à enzima livre. Essa alta estabilidade foi atribuída à possibilidade de formação de ligação multi-ponto, uma característica conhecida dos suportes epóxi. Foi avaliado o efeito da adição de β -glicosidase livre e imobilizada durante a sacarificação de papel de papel de filtro, polpa de madeira pré-tratada e celulose microcristalina com o complexo enzimático comercial Celluclast. A sacarificação com adição de enzima imobilizada apresentou o mesmo rendimento que aquela com adição de enzima livre. A enzima imobilizada foi reutilizada seis vezes neste processo sem grandes perdas da atividade (TU *et al.*, 2006).

O aumento da estabilidade térmica após a imobilização de enzimas também é um fator favorável para o processo de biocatálise, a β -glicosidase intracelular de *Termitomyces clypeatus* apresentou atividade residual mantida em 64% após 1h de pré-incubação (PAL *et al.*, 2010).

Alternativa interessante no caso de β -glicosidase é a imobilização da célula contendo a enzima. Dessa maneira, é evitado o trabalho de extração e uma possível purificação da enzima. She e Xia, utilizaram essa estratégia para imobilização de β -glicosidase de *Aspergillus niger* (SU *et al.*, 2009). O fungo foi inicialmente crescido em fermentação no estado sólido. Após 72 h, a solução de esporos contendo β -glicosidase foi extraída e imobilizada com alginato de sódio em solução de cálcio. Nenhum procedimento foi adotado para inviabilizar as células. As *beads* de célula imobilizada contendo a enzima foram utilizadas para aumentar o rendimento do processo de sacarificação de sabugo de milho com celulasas de *Trichoderma reesei*. O rendimento em glicose da sacarificação foi aumentado de 64 %, antes da adição das *beads*, para 84 %, após 48 h de adição das mesmas.

REFERÊNCIAS

AGULAR, A.; FERRAZ, A. Mecanismos envolvidos na biodegradação de materiais lignocelulósicos e aplicações tecnológicas. **Química Nova**, v. 34, n. 10, p. 1729–1738, 2011.

ANDRADE, A. L. *et al.* Synthesis and characterization of magnetic nanoparticles coated with silica through a sol-gel approach. **Cerâmica**, p. 420–425, 2009.

ALTINKAYNAK, C. *et al.* A new generation approach in enzyme immobilization: Organic-inorganic hybrid nanoflowers with enhanced catalytic activity and stability. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 93–94, n. June, p. 105–112, 2016.

BALAT, M.; BALAT, H.; ÖZ, C. Progress in bioethanol processing. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 34, p. 551 – 573, 2008.

BERMAN, H. M. *et al.* The Protein Data Bank. **Nucleic Acids Research**, v. 28, p. 235–242, 2000.

BETANCOR, L. *et al.* Different mechanisms of protein immobilization on glutaraldehyde activated supports: Effect of support activation and immobilization conditions. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 39, n. 4, p. 877–882, 2006.

BICKERSTAFF, G. F. Immobilization of Enzymes and Cells: Some Practical Considerations. **Immobilization of Enzymes and Cells**, v. 1, p. 1–12, 2003.

BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES R. L. Biochemistry e Molecular Biology of plants. **American Society off plants Biologists**. EUA, 2000.

BUSTO, M. D.; ORTEGA, N. Studies on Microbial P-D-Glucosidase Immobilized in Alginate Gel Beads. **Process Biochemistry**, v. 30, n. 5, p. 421–426, 1995.

CAIRNS, J. R. K.; ESEN, A. β -Glucosidasas. **Cellular and Molecular Life Sciences**, v. 67, n. 20, p. 3389–3405, 2010.

CARDOSO, C. L.; DE MORAES, M. C.; CASS, Q. B. Immobilization of the enzymes on chromatographic supports: A tool to research of inhibitor compounds. **Quimica Nova**, v. 32, n. 1, p. 175–187, 2009.

CHAMPAGNE P. Feasibility of producing bio-ethanol from waste residues: A Canadian perspective. Feasibility of producing bio-ethanol from waste residues in Canada. **Resources, Conservation and Recycling** 50: 211-230, 2007.

CHEN, T. *et al.* Enzyme and Microbial Technology Enhancing catalytic performance of β -glucosidase via immobilization on metal ions chelated magnetic nanoparticles. **Enzyme and Microbial Technology**. v. 63, p. 50–57, 2014.

COLLINS, T.; GERDAY, C.; FELLER, G. Xylanases, xylanase families and extremophilic xylanases. **FEMS Microbiology Reviews**, jan. 2005.

DA GONÇALVES, C. C. S.; MARSAIOLI, A. J. Fatos e tendências da biocatálise. **Quimica Nova**, v. 36, n. 10, p. 1587–1590, 2013.

DE ANDRADE, L. G. A. *et al.* Sugarcane bagasse saccharification by purified β -glucosidases from *Chrysosporthe cubensis*. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 12, n. July, p. 199–205, 2017.

HAHN-HÄGERDAL, B. *et al.* Bio-ethanol - the fuel of tomorrow from the residues of today. **Trends in Biotechnology**, dez. 2006.

HANEFELD, U.; CAO, L.; MAGNER, E. Enzyme immobilisation: fundamentals and application. **Chemical Society Review** p. 6211–6212, 2013.

HIRSH, S. L. *et al.* A Comparison of covalent immobilization and physical adsorption of a cellulase enzyme mixture. **Langmuir**, v. 26, n. 17, p. 14380–14388, 2010.

JEFFRIES, T. W. Biodegradation of lignin and hemicelluloses. **Biochemistry of Microbial Degradation**, 233-277, 1994.

JENG, W. Y. *et al.* Structural and functional analysis of three β -glucosidases from bacterium *Clostridium cellulovorans*, fungus *Trichoderma reesei* and termite *Neotermes koshunensis*. **Journal of Structural Biology**, v. 173, n. 1, p. 46–56, 2011.

JIA, F.; NARASIMHAN, B.; MALLAPRAGADA, S. Materials-based strategies for multi-enzyme immobilization and co-localization: A review. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 111, n. 2, p. 209–222, 2014.

JONKHEIJM, P. *et al.* Chemical strategies for generating protein biochips. **Angewandte Chemie - International Edition**, v. 47, n. 50, p. 9618–9647, 2008.

KOROTKOVA, O. G. *et al.* Isolation and properties of fungal β -glucosidases. **Biochemistry (Moscow)**, v. 74, n. 5, p. 569–577, 2009.

KUDAIBERGENOV, S. E.; NURAJE, N.; KHUTORYANSKIY, V. V. Amphoteric nano-, micro-, and macrogels, membranes, and thin films. **Soft Matter**, v. 8, n. 36, p. 9302–9321, 2012.

KUMAR, P. *et al.* Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. **Industrial and Engineering Chemistry Research**, 15 abr. 2009.

LIN, Y.; TANAKA, S. Ethanol fermentation from biomass resources: Current state and prospects. **Applied Microbiology and Biotechnology**, fev. 2006.

MAITAN-ALFENAS, G. P. *et al.* Hydrolysis of soybean isoflavones by *Debaryomyces hansenii* UFV-1 immobilised cells and free β -glucosidase. **Food Chemistry**, v. 146, p. 429–436, 2014.

MONSAN, P.; COMBES, D. Enzyme Stabilization by Immobilization. **Methods in Enzymology**, v. 137, n. C, p. 584–598, 1988.

MROCZKIEWICZ, M. *et al.* Different methods of Acid Phosphatase immobilization for its application in FIA systems with potentiometric detection. **Procedia Engineering**, v. 47, n. Iii, p. 265–268, 2012.

PAL, S. *et al.* Purification and characterization of a thermostable intra-cellular β -glucosidase with transglycosylation properties from filamentous fungus *Termitomyces chypeatus*. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 7, p. 2412–2420, 2010.

SAHA, B. C. Research review paper-L-Arabinofuranosidases: biochemistry, molecular biology and application in biotechnology. **Biotechnology Advances**. v. 18, p. 403–423, 2000.

SAHA, B. C. Purification and properties of an extracellular β -xylosidase from a newly isolated *Fusarium proliferatum*. **Bioresource Technology**, v. 90, n. 1, p. 33–38, 2003.

SAXENA, R. C.; ADHIKARI, D. K.; GOYAL, H. B. Biomass-based energy fuel through biochemical routes: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, p. 167–178, 2009.

SHARMA, A. *et al.* Cellulases: Classification, Methods of Determination and Industrial Applications. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 179, n. 8, p. 1346–1380, 2016.

SHELDON, R. A. Enzyme immobilization: The quest for optimum performance. **Advanced Synthesis and Catalysis**, v. 349, n. 8–9, p. 1289–1307, 2007.

SU, E. Food and Bioproducts Processing Immobilization of β -glucosidase and its aroma-increasing effect on tea beverage. **Food and Bioproducts Processing**, v. 88, n. 2–3, p. 83–89, 2009.

SUHAS; CARROTT, P. J. M.; RIBEIRO CARROTT, M. M. L. Lignin - from natural adsorbent to activated carbon: A review. **Bioresource Technology**, v. 98, p. 2301–2312, 2007.

TRISTÃO, J. C. *et al.* Preparação de nanopartículas magnéticas recobertas por carbono (C @ Fe₃O₄) a partir da reação de Fe₂O₃ e CH₄. **Cerâmica**. v. 63, n. 2, p. 1–7, 2017.

TUOMELA, M. *et al.* Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. **Bioresource Technology**, v. 72, p. 169–183, 2000.

VANDENBERGHE, L. P. S. *et al.* Beyond sugar and ethanol: The future of sugarcane biorefineries in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 167, 1 out. 2022.

WANG, F. *et al.* Preparation and activity of bubbling-immobilized cellobiase within chitosan-alginate composite. **Preparative Biochemistry and Biotechnology**, v. 40, n. 1, p. 57–64, jan. 2010.

WHITAKER JR, Principles of enzymology for food sciences. **Marcel Dekker** 2nd edition: 625, 1994.

CAPÍTULO 2

IMPORTÂNCIA ECONÔMICA DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO EM MATO GROSSO

Maira Luiza Spanholi

RESUMO

As Unidades de Conservação (UCs) são espaços criados por legislação com vistas a proteção da biodiversidade. Em Mato Grosso elas são importantes por preservarem remanescente florestal em compatibilidade com o desenvolvimento de atividades econômicas. Este trabalho tem como objetivo demonstrar a importância econômica das Unidades de Conservação de Mato Grosso. A metodologia é baseada na literatura do meio ambiente com utilização de ambiente SIG para análises. Como resultado observou-se que as UCs estão presentes em 6% do território Mato-grossense e protegem 3,6 milhões de hectares de remanescentes florestais e como consequência impedem emissões de gases de efeito estufa para a atmosfera, auxiliando na mitigação das mudanças climáticas. Ainda, verificou-se que o número de municípios aptos a receberem ICMS ecológico tem crescido, significando que a preocupação com a proteção ambiental tem aumentado nos municípios do estado, já que a transferência é repassada para aqueles municípios que possuem UCs ou Terras Indígenas em seu território. Um exemplo de UC que protege a biodiversidade e aproveita-se de benefícios econômicos é o Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, que em 2019 recebeu 183.592 visitantes e através dos seus gastos geraram em torno de R\$65 milhões e geraram 842 empregos diretos. Os resultados demonstram alguns benefícios econômicos das UCs, instrumentos importantes para a conservação da biodiversidade e desenvolvimento econômico sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Áreas protegidas. Economia ambiental. Remanescente florestal. Turismo. Valoração econômica ambiental.

1. INTRODUÇÃO

A crescente pressão sobre os recursos naturais, com transformação da área florestal em usos antrópicos, sem levar em consideração suas limitações, fez surgir preocupações com sua proteção associada à necessidade de se promover um desenvolvimento sustentável, que tem como visão, suprir as necessidades da geração atual sem comprometer a geração futura. Essa percepção de que é preciso adotar políticas alinhadas à conservação do meio ambiente é reforçada pela preocupação global em elaborar tratados internacionais e a instituição de metas por organizações supranacionais voltadas para a mitigação das mudanças climáticas e defesa de áreas protegidas.

Um das estratégias globais na proteção do meio ambiente é a presença de áreas protegidas, já que são instrumentos de conservação in situ da biodiversidade. No Brasil, as áreas protegidas são classificadas como Unidades de Conservação (UCs) e são espaços protegidos pela legislação, reguladas pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) por meio da Lei nº 9.985/2000. As UCs também são consideradas como estratégicas para a

conservação da biodiversidade, pois são capazes de garantir a provisão de serviços ecossistêmicos fundamentais para a sociedade (MEA, 2003).

Um dos principais e mais importantes instrumentos internacionais relacionados ao meio ambiente é a Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), um tratado da Organização das Nações Unidas que foi estabelecido durante a notória ECO-92. Em seu artigo oitavo trata especialmente da conservação *in situ*, em que cabe a cada país: “estabelecer um sistema de áreas protegidas ou áreas onde medidas especiais precisem ser tomadas para conservar a diversidade biológica”; e “desenvolver, se necessário, diretrizes para a seleção, estabelecimento e administração de áreas protegidas ou áreas onde medidas especiais precisem ser tomadas para conservar a diversidade biológica” (BRASIL, 2000).

Outro compromisso internacional relacionado à proteção do meio ambiente, inclusive sobre as áreas protegidas, foi pactuado por meio da Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável que foi assinado por 193 países integrantes da Organização das Nações Unidas (ONU) em 2015, e reconhece dezessete objetivos para atingir o Desenvolvimento Sustentável (ODS). Entre eles, diretamente relacionados às UCs estão os objetivos 14 (Vida na água) e 15 (Vida terrestre) com as metas:

14.2 até 2020, gerir de forma sustentável e proteger os ecossistemas marinhos e costeiros para evitar impactos adversos significativos, inclusive por meio do reforço da sua capacidade de resiliência, e tomar medidas para a sua restauração, a fim de assegurar oceanos saudáveis e produtivos.

14.5 até 2020, conservar pelo menos 10% das zonas costeiras e marinhas, de acordo com a legislação nacional e internacional, e com base na melhor informação científica disponível.

14.c assegurar a conservação e o uso sustentável dos oceanos e seus recursos pela implementação do direito internacional, como refletido na UNCLOS, que provê o arcabouço legal para a conservação e utilização sustentável dos oceanos e dos seus recursos, conforme registrado no parágrafo 158 do “Futuro que queremos”.

15.1 até 2020, assegurar a conservação, recuperação e uso sustentável de ecossistemas terrestres e de água doce interiores e seus serviços, em especial, florestas, zonas úmidas, montanhas e terras áridas, em conformidade com as obrigações decorrentes dos acordos internacionais.

15.5 tomar medidas urgentes e significativas para reduzir a degradação de habitat naturais, estancar a perda de biodiversidade e, até 2020, proteger e evitar a extinção de espécies ameaçadas (ONU, 2015).

Também se relacionam de forma indireta às áreas protegidas, os objetivos 3 (Saúde e bem-estar), 5 (Igualdade de Gênero), 6 (Água potável e saneamento), 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima) (UNEP-WCMC *et al.*, 2018).

Para o estado do Mato Grosso, especificamente, uma experiência bem sucedida de projeto de desenvolvimento sustentável foi o Projeto de Desenvolvimento Agroambiental

(PRODEAGRO), que foi oriundo da Convenção de Diversidade Biológica (CDB) na ECO-92, assinado entre o governo brasileiro e o Banco Mundial. Entre diversos componentes do programa, um de importância extrema foi o apoio à criação de Unidades de Conservação (UC) (DA SILVA *et al.*, 2015).

No entanto, não se esgotam nesse texto, as discussões sobre os esforços para a proteção do meio ambiente e das áreas protegidas, mas evidencia-se a necessidade de uma nova ótica de desenvolvimento, garantindo e direcionando políticas públicas coerentes com a gestão dos ativos ambientais. Isto suscita que é essencial a determinação de valores econômicos aos recursos naturais existentes e das funções que os mesmos desempenham para a promoção do bem-estar social (SOUSA; MOTA, 2006).

As ferramentas de análises utilizadas são baseadas nos métodos de valoração econômica do meio ambiente que fazem parte do arcabouço teórico da microeconomia do bem-estar e são necessários na determinação dos custos e benefícios sociais quando as decisões de investimentos públicos afetam o consumo da população e, portanto, seu nível de bem-estar. Através da valoração poderão ser delineadas políticas públicas e investimentos para a preservação da biodiversidade.

A valoração econômica dos bens e serviços ecossistêmicos é uma importante ferramenta que serve como auxílio nas tomadas de decisões referentes às políticas de proteção ambiental. Para conceituar os serviços ecossistêmicos pode-se usar a classificação proposta pelo MEA (2005) que define que são os benefícios que o ser humano obtém dos ecossistemas, e incluem serviços de provisão, como alimentos e água; de regulação, como a regulação de inundações, secas, degradação do solo; de suporte, como formação do solo e ciclagem de nutrientes; e serviços culturais, como de lazer, espiritual, religioso e outros benefícios não materiais (MEA, 2005).

Para valorar os serviços ecossistêmico, a atual literatura econômica do meio ambiente distingue três tipos de valores que compõem o valor econômico total do ambiente: valor de uso (direto e indireto), valor de opção e valor de existência (NASCIMENTO; RIBEIRO; SOUSA, 2013).

Inseridos nesse contexto, áreas protegidas são importantes para garantir a preservação de ecossistemas de relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades como o turismo que proporcionam contato mais próximo da população com a natureza.

O turismo no mundo vem crescendo, constantemente, a taxas superiores ao crescimento da Economia, tanto em número de turistas como em receitas. A visitação em áreas naturais representa um grande potencial de desenvolvimento sustentado de polos regionais. Ao mesmo tempo em que fortalecerá a região, incrementará a economia. Por outro lado, o desafio consiste em fazer com que o turismo seja desenvolvido de maneira harmônica e integrada com a preservação ambiental. Portanto, a necessidade de identificar, atrair e atender a demanda turística e minimizar impactos provocados pela visitação torna-se um desafio a todos os envolvidos no processo (SKAF, 2017).

Além disso, as áreas protegidas são importantes espaços para a captura de dióxido de carbono da atmosfera, contribuindo para que o aquecimento global ocorra de forma mais lenta. Segundo Alvarenga Júnior *et al.* (2018) a criação de Unidades de Conservação reduz as taxas de desmatamento no Brasil e, conseqüentemente, influencia na redução dos níveis de emissão de gases do efeito estufa.

No Brasil, uma importante política pública para incentivar a criação de áreas de preservação ambiental foi o ICMS ecológico, já que, em muitos estados, os municípios que contêm em seus territórios Unidades de Conservação ou áreas protegidas, ou mananciais para abastecimento estão aptos a receberem repasses de recursos financeiros como forma de compensação pela manutenção dessas áreas.

Como já mencionado, uma das formas de proteção da biodiversidade é a implementação de UCs, criadas especificamente com o objetivo de conservação. Em Mato Grosso, as UCs, mesmo que não sejam tão representativas em relação à área no estado (6%), têm cumprido seu papel de proteger o meio ambiente e ainda conseguem dinamizar a economia regional por meio da visitação e uso público. Um exemplo bem-sucedido no estado é o Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, principal fonte de recursos monetários para o município que o abriga, Chapada dos Guimarães.

Diante disso, cabe salientar que através da valoração econômica é possível mostrar que o meio ambiente é capaz de proporcionar desenvolvimento sustentável e ajudar a orientar políticas públicas para a conservação e preservação de recursos naturais ou a mitigação de danos ambientais.

2. BREVE HISTÓRICO DA VALORAÇÃO AMBIENTAL

No tripé da sustentabilidade (econômico, ambiental e social), a economia tenta avançar conceitualmente nas questões ambientais, já que desde a década de 1920 formulava teorias para

a economia do desenvolvimento e do meio ambiente. Entretanto, apenas nas décadas de 1950 e 1960, houve a consolidação da Economia Ambiental nos Estados Unidos, com os estudos de Allen Kneese, que já discutia os benefícios de políticas públicas ambientais e mecanismos de mercado para o meio ambiente (BORGER, 1995).

Ao longo desse tempo, algumas correntes de economistas têm procurado desenvolver conceitos, métodos e técnicas com o objetivo de calcular os valores econômicos do ambiente. Dentre essas, pode-se destacar a economia do meio ambiente e dos recursos naturais, que se debruça nos fundamentos da teoria neoclássica; a economia ecológica que repousa nas leis da termodinâmica e busca valorar os recursos ecológicos baseados nos fluxos de energia líquida dos ecossistemas; e a economia institucionalista que aborda a questão em termos dos custos de transação incididos dos elementos (instituições, comunidades, agências, públicos em geral) do ecossistema, na procura de uma determinada qualidade ambiental. Contudo, os conceitos de valoração ambiental orientados pela teoria neoclássica - economia do bem-estar -, são os de maior amplitude de aplicação e uso (MARQUES; COMUNE, 1997).

Conceitualmente, determinar o valor econômico de um recurso ambiental é estimar o valor monetário deste recurso em relação aos outros bens e serviços à disposição na economia. Mesmo o uso de recursos ambientais não tendo seu preço reconhecido no mercado, seu valor econômico existe na medida que seu uso modifica o nível de produção e consumo (bem-estar) da sociedade (SEROA DA MOTTA, 1997).

De uma maneira geral, os métodos de valoração econômica ambiental são utilizados para estimar os valores que as pessoas atribuem aos recursos ambientais, com base em suas preferências individuais (PEARCE, 1993).

Os métodos de valoração econômica ambiental são instrumentos de análise que colaboram para uma técnica de avaliação de projetos mais abrangente: a conhecida análise custo-benefício (ACB) (NOGUEIRA; MEDEIROS; ARRUDA, 2000).

Por meio dos procedimentos da ACB é possível identificar as estratégias cujos benefícios são maiores do que os custos. Desta forma, os tomadores de decisão estão maximizando os recursos disponíveis da sociedade e, conseqüentemente, otimizando o bem-estar social (SEROA DA MOTTA, 1997).

Uma análise de custo-benefício será sempre o recurso mais óbvio a ser adotado em situações em que seja necessário escolher um conjunto de opções em detrimento de outro. Assim, o gestor procurará comparar, em cada opção, o custo de realizá-la *versus* o resultante

benefício, decidindo por aquela que acredita ter a menor relação custo-benefício. A estimação destes custos e benefícios nem sempre é trivial, pois requer, primeiro, a capacidade de identificá-los e, segundo a definição, *a priori*, de critérios que tornem as estimativas destes comparáveis entre si e no tempo (SEROA DA MOTTA, 1997).

A análise custo-benefício foi desenvolvida, originalmente, para tratar da avaliação de projetos pertinentes aos recursos hídricos para aproveitamento energético nos Estados Unidos. Mas esse instrumental desenvolvido começou a ser aplicado a outros problemas quando houve redução da taxa de construção de barragens no país (NOGUEIRA; MEDEIROS; ARRUDA, 2000).

Conforme Hanley e Spash (1993), a ideia de avaliar projetos através da comparação entre custos e benefícios data de 1808. Já Hufschmidt *et al.* (1983) afirmam que a técnica de ACB foi elaborada em resposta a exigências legais do governo federal dos Estados Unidos em 1936, a estabelecendo como um instrumento de avaliação de projetos que utilizavam recursos hídricos. Dessa forma, o governo Norte americano foi fundamental para a ampla utilização da técnica. A partir de 1969, a aplicação da ACB para as novas regulações estabelecidas em lei passou a ser obrigatória, impulsionando de forma decisiva o desenvolvimento da técnica (NOGUEIRA; MEDEIROS; ARRUDA, 2000).

Diante disso, as aplicações se estenderam, sendo usadas na recreação ao ar livre para bens públicos, vida selvagem, qualidade do ar, saúde humana e estética, entre outros. Essas aplicações foram particularmente intensas nos anos 1970 e 1980 e, desde então, a pesquisa nessa área tem se expandido (NOGUEIRA; MEDEIROS; ARRUDA, 2000).

Daí em diante, começaram a surgir os primeiros métodos de valoração econômica, mas deve-se ter em mente que há uma limitada capacidade destes métodos de capturar os valores das funções ecossistêmicas, sendo desenvolvida a ideia de valor de uso e valor de não-uso:

No caso de um recurso ambiental, os fluxos de bens e serviços ambientais, que são derivados do seu consumo, definem seus atributos. Entretanto, existem também atributos de consumo associados à própria existência do recurso ambiental, independentemente do fluxo atual e futuro de bens e serviços apropriados na forma do seu uso. Assim, é comum na literatura desagregar o valor econômico do recurso ambiental (VERA) em valor de uso (VU) e valor de não-uso (VNU) (SEROA DA MOTTA, 1997, p. 11).

O valor de uso (VU) é o valor que as pessoas atribuem ao uso ou usufruto dos recursos ambientais (Quadro 1) e ele pode ser separado em dois valores. O primeiro, valor de uso direto (VUD), é aquele em que o indivíduo desfruta diretamente de um recurso, como por exemplo, a extração, visitação, alguma outra forma de atividade produtiva. O segundo é o valor de uso

indireto (VUI), em que o benefício atual do recurso é derivado de funções ecossistêmicas, como por exemplo, a proteção dos corpos d'água decorrente da preservação das florestas (YOUNG; FAUSTO, 1997).

No entanto, aqueles indivíduos que não usufruem atualmente de serviços prestados pelo meio ambiente podem também atribuir um valor a este. Esse valor está relacionado a usos futuros que podem gerar alguma forma de benefício ou satisfação aos indivíduos, por isso é chamado de valor de opção (VO), que pode ser tanto uso direto quanto indireto (YOUNG; FAUSTO, 1997).

O valor de existência (VE) pode ser caracterizado como um valor de não-uso. É mais difícil de conceituar, pois representa um valor atribuído à existência do meio ambiente independentemente do seu uso atual ou futuro. Significa que as pessoas atribuem um valor a certos recursos ambientais, como florestas e animais, mesmo que não pretendam usá-los ou apreciá-los (YOUNG; FAUSTO, 1997).

Quadro 1: Taxonomia geral do valor econômico do recurso ambiental.

VALOR DE USO			VALOR DE NÃO-USO
Valor de Uso Direto	Valor de Uso Indireto	Valor de Opção	Valor de Existência
Bens e serviços ambientais apropriados diretamente da exploração do recurso e consumidos hoje	Bens e serviços ambientais que são gerados de funções ecossistêmicas e apropriados e consumidos indiretamente hoje	Bens e serviços ambientais de usos diretos e indiretos a serem apropriados e consumidos no futuro	Valor não associado ao uso atual ou futuro e que reflete questões morais, culturais, éticas ou altruístas

Fonte: Seroa da Motta (1997 p. 12).

Os métodos utilizados para a valoração são divididos em métodos da função de produção e métodos da função de demanda (SEROA DA MOTTA, 1997).

Os métodos da função de produção são utilizados quando o recurso ambiental é um insumo ou um substituto de um bem ou serviço privado, também chamado de método das preferências reveladas ou indiretos, e são divididos em (SEROA DA MOTTA, 1997):

- Método de Produtividade Marginal (PMP);
 - Método Dose-Resposta (MDR).
- Método de Mercado de Bens Substitutos, o qual divide-se em:
 - Método Custo de Reposição (MCR);
 - Método de Custo Evitado (MCE); e

○ Método Custo de Controle.

Os métodos da função de demanda utilizam como base de cálculo a percepção da população diante do bem ambiental, também chamado de método das preferências declaradas ou diretos, e são divididos em (SEROA DA MOTTA, 1997):

- Método de Valoração Contingente (MVC);
- Método de Custos de Viagem (MCV);
- Método de Preços Hedônicos (MPH).

Diante disso, podem ser utilizados vários métodos no processo de valoração econômica do meio ambiente. A escolha do método mais adequado dependerá do objetivo da valoração, das hipóteses assumidas, do conhecimento da dinâmica ecológica do objeto que está sendo valorado, dos indicadores econômicos disponíveis, da causa do evento, da disponibilidade de dados, dentre outros (EDUARDO; MALDONADO; RIBEIRO, 2017).

3. UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE MATO GROSSO

Em Mato Grosso aproximadamente 6% do seu território é protegido por UCs federais, estaduais e municipais. Além disso, as Unidades de Conservação do estado de Mato Grosso são 65% do grupo de proteção integral e 35% do grupo de uso sustentável (Tabela 1).

Tabela 1: Quantidade de UCs e área protegida por jurisdição e grupo.

	Quantidade	Área (ha)	%
Federal	22	2.027.240	38%
Estadual	52	2.771.418	52%
Municipal	46	496.112	9%
Total	120	5.294.769	100%
Proteção Integral	74	3.444.105	65%
Uso Sustentável	46	1.850.664	35%
Total	120	5.294.769	100%

Fonte: Autoria própria a partir de dados extraídos em SEMA-MT (2018) e MMA (2020).

Utilizando os dados da cobertura do solo e uso da terra são da Coleção 5 do MapBiomass obtidos em raster, juntamente com a planilha eletrônica (.xlsx) contendo as referências para os códigos de legenda calculando os *pixels* da imagem raster foram obtidos os valores referentes a uso e cobertura das áreas de UCs. Todas as análises e procedimentos em ambiente SIG foram realizadas utilizando-se o software livre QGIS 3.16.5-Hannover e os procedimentos que envolveram geoprocessamento foram executados em lote para otimização do trabalho.

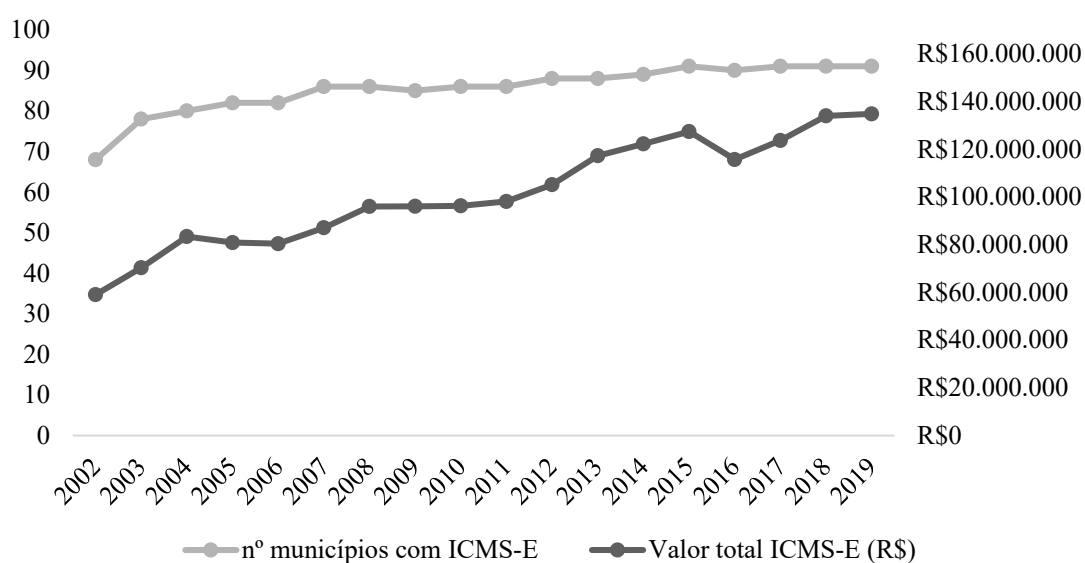
No Mato Grosso os remanescentes florestais preservados pela UCs federais e estaduais totalizaram, em 2019, 3,6 milhões de hectares, com um estoque total de carbono florestal estimado em 1,2 GtCO₂e.

O estado de Mato Grosso possui o ICMS ecológico desde 2001, ou seja, repassa parcela do ICMS (Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços) para os municípios que atendam alguns critérios ambientais. Para definir a distribuição da arrecadação os critérios utilizados são quantitativos (quantidade e área de UCs e Terras Indígenas) e também aspectos qualitativos (fator de correção) (MATO GROSSO, 2000).

Em Mato Grosso, foi publicada a Lei Complementar Estadual 73/2.000, que dispunha sobre os critérios de distribuição da parcela de receita do ICMS pertencente aos Municípios, que posteriormente teve seu artigo 8º regulamentado pelo decreto 2.758, de 16 de julho de 2001. Todavia, tais critérios foram alterados pelo artigo 2º da Lei Complementar nº157, de 20 de janeiro de 2004, que estabelece normas relativas ao cálculo dos Índices de Participação dos Municípios (IPM) do Mato Grosso no produto da arrecadação do ICMS, e trata, em seu inciso VI, das Unidades de Conservação/Terras Indígenas.

O valor do repasse do ICMS ecológico no primeiro ano de sua existência foi de pouco mais de R\$59 milhões de reais, enquanto que em 2019 esse valor foi superior a R\$135 milhões de reais (Gráfico 1).

Gráfico 1: Evolução do ICMS ecológico e municípios contemplados entre os anos de 2002 e 2019 em Mato Grosso².



Fonte: Autoria própria a partir de dados extraídos em SEFAZ (2021) e SEMA (2018).

² Valores corrigidos a preços de 2019.

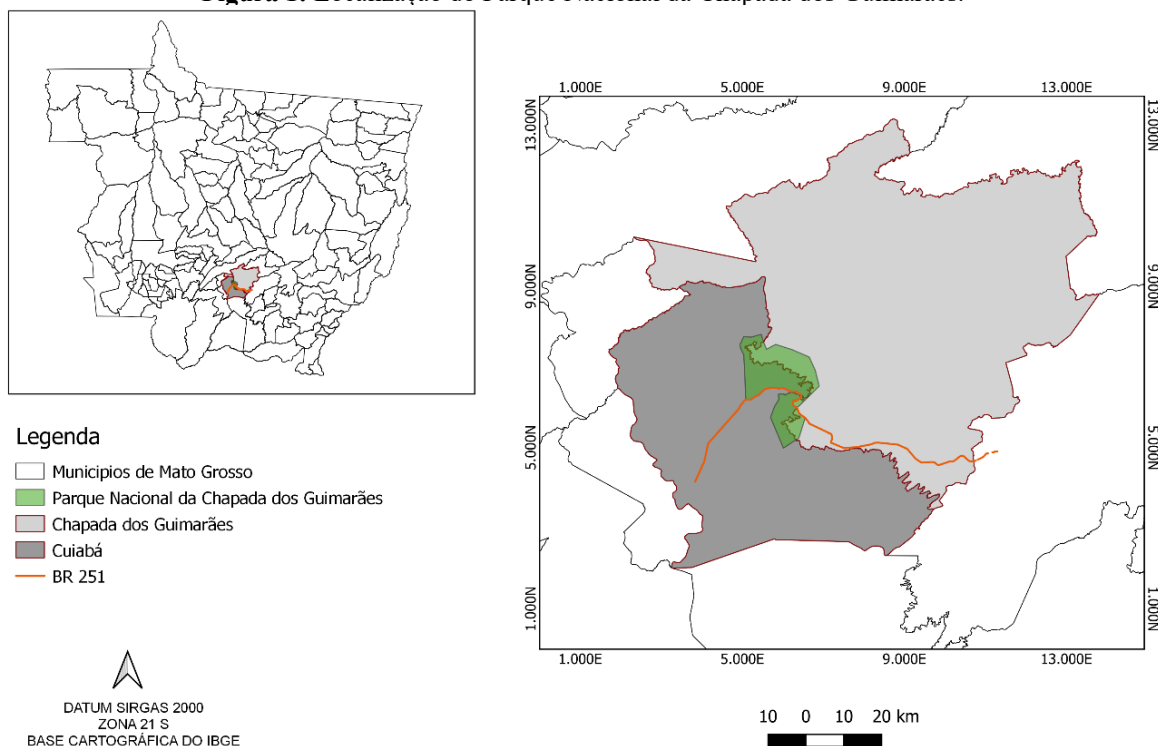
Além disso, o impacto econômico do turismo em Unidades de Conservação é considerado significativo, no ano 2016, por exemplo, os parques estaduais brasileiros registraram mais de 5 milhões de visitantes, resultando em um impacto econômico entre R\$ 826 milhões e R\$ 1,9 Bilhões (RODRIGUES *et al.*, 2018). Enquanto que as UCs estaduais e federais brasileiras registraram 16 milhões de visitantes proporcionando um impacto econômico com valores variando entre R\$ 2,5 bilhões e R\$ 6,0 bilhões, e gerando entre 76 mil e 133 mil empregos (RODRIGUES *et al.*, 2018).

Um monitoramento da visitação em UCs federais realizado pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) verificou que, os gastos dos visitantes nos municípios de acesso às UCs em 2018 giraram em torno de R\$ 2,4 bilhões. Também contribuíram com a economia nacional com cerca de 90 mil empregos, R\$ 2,7 bilhões em renda, R\$ 3,8 bilhões em valor agregado ao PIB e R\$ 10,4 bilhões em vendas (SOUZA; SIMÕES, 2019).

4. VALORAÇÃO DO PARQUE NACIONAL DA CHAPADA DOS GUIMARÃES

Um exemplo de UC importante para o turismo em Mato Grosso é o Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, que possui 32.630 hectares e fica entre os municípios de Chapada dos Guimarães e Cuiabá (Figura 1).

Figura 1: Localização do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães.



Fonte: Autoria própria (2021).

A estimativa de visitantes no parque no ano de 2017 foi de 172.839 turistas (SOUZA; SIMÕES, 2018), com isso o Município de Chapada dos Guimarães é um dos principais destinos turísticos do estado de Mato Grosso, sendo essa uma atividade importante para a economia municipal. A tabela 2 demonstra as atividades características ao turismo na região, ou seja, o número de empresas que estão ligadas diretamente ao turismo.

Tabela 2: Atividades relacionadas ao turismo em Chapada dos Guimarães.

Atividades Características do Turismo	2015	2016	2017	2018	2019
Alojamento	46	40	41	49	46
Alimentação	59	48	76	64	66
Transporte Terrestre	9	10	6	8	7
Transporte Aquaviário	2	2	1	2	2
Aluguel de Transportes				1	
Agência de Viagem	8	5	7	7	13
Cultura e Lazer	4	2	4	4	6

Fonte: IPEA (2021).

Tomando como base o ano de 2019, as atividades relacionadas ao alojamento são, em sua maioria, pequenos negócios locais com nenhum (33%) ou no máximo quatro empregados (41%), tendo apenas uma empresa de grande porte com mais de 250 empregados. Já as atividades relacionadas a alimentação são conduzidas apenas pelo proprietário em 39% dos casos, enquanto que 41% tem até quatro empregados, 11% de cinco a nove empregados e 9% acima de 10 empregados (IPEA, 2019).

Das empresas de transporte terrestre cinco não possuem empregados, uma possui até quatro empregados e uma acima de 10 empregados. Já as empresas de transportes aquaviários não possuem empregados.

As agências de viagem, em sua maioria (8), não possuem empregados. Quatro delas possuem até quatro funcionários e uma de cinco a nove empregados. Ao tratar das empresas relacionadas a cultura e lazer quatro não possuem empregados e duas possuem até quatro empregados.

Com esse detalhamento, é possível perceber que as empresas que atendem ao turista no município são pequenos negócios locais, geralmente conduzidas pelo proprietário ou um pequeno grupo de empregados. Os dados apresentados são fornecidos pelo IPEA e condizem apenas aos empregos formais, não levando em consideração as ocupações informais.

No ano de 2019, Chapada dos Guimarães possuía 3.050 pessoas formalmente empregadas, distribuídas da seguinte forma: 1.504 no setor de serviços, 772 na agropecuária, 504 no comércio, 251 na indústria, 19 na construção. Atividades características do turismo

(conforme a tabela acima) representavam em torno de 48% do número de pessoas empregadas no setor de serviços do município em 2019. O setor de serviços cresceu em média 11% entre 2015 e 2019, enquanto que as atividades características do turismo cresceram em média 36% no mesmo período, indicando que são capazes de impulsionar o emprego no município (RAIZ, 2019; IPEA, 2021).

O turismo é importante para empregar pessoas, em especial no setor de serviços (TAKASAGO *et al.*, 2010; ETENE, 2019), mas não apenas em regimes formais de trabalho. Estudos versam sobre a concentração de trabalhadores pobres no setor informal, grande parte dos quais aparece como trabalhadores autônomos, o que aponta para a importância dos ganhos que o turismo pode proporcionar para reduzir a pobreza (BLAKE *et al.*, 2008; TAKASAGO; MOLLO, 2008).

Portanto, utilizando o cálculo da contribuição econômica do uso público através da metodologia baseada na ferramenta *Money Generation Model* (MGM) (Stynes *et al.*, 2000) e na Matriz de Insumo Produto, em que o impacto do uso público em áreas protegidas é observado no âmbito de toda a cadeia produtiva do setor (RODRIGUES *et al.*, 2018), foi observado o impacto econômico do turismo do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães para o ano de 2019. A base de cálculo é expressa pela seguinte equação:

$$\text{Impacto econômico} = \text{número de visitantes} \times \text{média de gastos por visitante} \times \text{multiplicador}$$

Um dos principais desafios é a análise da média de gastos dos visitantes, já que é um dado primário que depende da informação do visitante e de estimativas de alguns gastos principais, como: transporte, alimentação, hospedagem, contratação de serviços e atividades de apoio ao turismo, compra de souvenirs. Esse estudo está considerando a média de gastos por visitantes utilizada por Medeiros e Young (2011) corrigida pela inflação para o ano de 2019 (R\$204,60). O multiplicador utilizado (1,74) foi baseado no Sistema de Matrizes de Insumo-Produto para o Brasil, utilizando metodologia de Guilhoto e Sesso (2010) e Guilhoto e Sesso (2005) e número de visitantes foi o estimado pela administração do parque (183.592 visitantes).

Considerando tais valores, calcula-se o impacto econômico da visitação no Parque Nacional da Chapada dos Guimarães para o ano de 2019 no valor de R\$65.359.486 e estima-se que 842 empregos foram gerados pela existência do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães.

Dessa forma, o estudo revelou a importância econômica de um dos serviços ecossistêmicos prestado pelo Parque Nacional da Chapada dos Guimarães, o uso público. A visitação no parque demonstrou ser um mecanismo importante para o desenvolvimento da economia local.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir de metodologias da economia do meio ambiente, incluindo a valoração, os benefícios econômicos das áreas protegidas cujo valor de mercado é subestimado pode ser demonstrado, ficando claro que através das UCs é possível a proteção dos recursos naturais em compatibilidade com o desenvolvimento de atividades econômicas.

As UCs têm um histórico de manter grande parte de seu remanescente florestal e a proteção de paisagens preservadas de grande relevância e beleza cênica permite, dentre outras ações, a atividade turística relacionada aos recursos naturais, proporcionando um impacto positivo na economia da região. Além disso, o remanescente florestal absorve carbono da atmosfera, auxiliando na mitigação das mudanças climáticas.

Deste modo, a harmonização entre desenvolvimento e preservação ambiental é uma estratégia eficiente, sustentável e justa, pois garante que o crescimento econômico ocorrerá de acordo com um modelo onde as questões econômicas e ambientais não sejam tratadas como antagônicas, mas sim como complementares.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA JÚNIOR, M. *et al.* Carbono florestal. In: YOUNG, C. E. F.; MEDEIROS, R. **Quanto vale o verde: a importância econômica das unidades de conservação brasileiras.** Rio de Janeiro: Conservação Internacional, 2018. 180p.

BLAKE, A. Tourism and income distribution in East Asia. **International Journal of Tourism Research**, v. 10, p. 511-524, 2008.

BORGER, F. G. **Valoração econômica do meio ambiente: aplicação da técnica avaliação contingente no caso da Bacia do Guarapiranga.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós Graduação em Ciência Ambiental, USP, São Paulo, 1995. 126 f.

BRASIL. Lei no 9.985, de 18 de julho de 2000. **Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm>. Acessado em: Set, 2018.

DA SILVA, C. J. *et al.* Formação Socioambiental do Estado do Mato Grosso. In: SIMONIAN, L. T. L.; BAPTISTA, E. R. (Org). **Formação Socioambiental da Amazônia.** Belém: NAEA, 2015, p. 319-392.

EDUARDO, A. S.; MALDONADO, A. D. R. M.; RIBEIRO, J. S. **Valoração econômica ambiental como instrumento do planejamento ambiental.** (Anais). *In*: Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação (EIGEDIN), Naviraí, v. 1, n. 1, 2017.

ETENE, Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste. **Perspectivas para o setor de serviços 2018/2019.** Banco do Nordeste, Ano II, n. 01, 2019. Disponível em: <<https://www.bnb.gov.br/documents/80223/4079612/INFORME+MPE+Ano+II+-+01-JAN19.pdf/80ea8852-e540-7a98-0faf-9b7812c0972b>> Acessado em: Fev, 2022.

GUILHOTO, J. J. M.; SESSO FILHO, U. A. Estimação da Matriz Insumo-Produto Utilizando Dados Preliminares das Contas Nacionais: Aplicação e Análise de Indicadores Econômicos para o Brasil em 2005. **Economia e Tecnologia.** UFPR/TECPAR. Ano 6, Vol 23, 2010.

GUILHOTO, J. J. M.; SESSO FILHO, U. A. Estimação da Matriz Insumo-Produto a Partir de Dados Preliminares das Contas Nacionais. **Economia Aplicada.** Vol. 9. N. 2. pp. 277-299, 2005.

IPEA, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Extrator de dados.** 2021 Disponível em: <<http://extrator.ipea.gov.br>> Acessado em: Jun, 2021.

MARQUES, J. F.; COMUNE, A. E. **A teoria neoclássica e a valoração ambiental.** Embrapa Meio Ambiente-Capítulo em livro científico (ALICE), 1997.

MATO GROSSO. Assembleia Legislativa. Lei Complementar Nº 73, de 07 de dezembro de 2000. Dispõe sobre os critérios de distribuição da parcela de receita do ICMS pertencente aos Municípios, de que tratam os incisos I e II do parágrafo único do art. 157 da Constituição Estadual e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, 07/12/03, p. 1. Disponível em: <<http://app1.sefaz.mt.gov.br/0425762E005567C5/9733A1D3F5BB1AB384256710004D4754/7DEDB9DE180B3E9A04256E220072D052>> Acessado em: Mar, 2021.

MEA, Millennium Ecosystem Assessment. **Ecosystems and Human Well-being Millennium Ecosystem Assessment Ecosystems and Human Well-being.** Washington DC: Island Press, 2003. Disponível em: <www.islandpress.org>. Acessado em: Set, 2018.

MEA, Millennium Ecosystem Assessment. **Ecosystems and human wellbeing: multiscale assessments.** Washington, D.C: Island Press, 2005. (Synthesis report series. Vol 4).

MEDEIROS, R.; YOUNG, C. E. F. **Contribuição das unidades de conservação brasileiras para a economia nacional.** Relatório Final. Brasília: UNEP-WCMC, 2011.

MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Unidades de Conservação: CNUC – 2020.** Disponível em: <http://dados.mma.gov.br/dataset/44b6dc8a-dc82-4a84-8d95-1b0da7c85dac/resource/c0babb3e-ec4e-4db5-a2b6-b79477260b0f/download/cnuc_2020_2- semestre.csv> Acessado em: Fev, 2021.

NASCIMENTO, S. T. M. F.; RIBEIRO, E. S.; SOUSA, R. A. T. M. Valoração econômica de uma unidade de conservação urbana, Cuiabá, Mato Grosso. **Revista Interações**, Campo Grande, v. 14, n. 1, p. 79-88, 2013.

NOGUEIRA, J. M.; MEDEIROS, M. D.; ARRUDA, F. D. Valoração econômica do meio ambiente: ciência ou empiricismo. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, 17(2), 81-115, 2000.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/wpcontent/uploads/2015/10/agenda2030-pt-br.pdf> > Acessado em Fev, 2021.

PEARCE, D. **Economic values and the natural world**. Londres: Earthscan Publications, 1993, 129 p.

RAIS, Relação Anual de Informações Sociais. Ministério do Trabalho e Previdência Social - MTPS. Informações para o Sistema Público de Emprego e Renda - ISPER. **Informações para o Sistema Público de Emprego e Renda - Dados por Município**. 2019. Disponível em: <https://bi.mte.gov.br/bgcaged/caged_isper/index.php#> Acessado em: Set, 2021.

RODRIGUES, C. G. O. *et al.* Turismo e uso público. In: YOUNG, C. E. F.; MEDEIROS, R. **Quanto vale o verde: a importância econômica das unidades de conservação brasileiras**. Rio de Janeiro: Conservação Internacional, 2018. 180p.

SEMA, Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Unidades de Conservação. Cuiabá, 2018. Disponível em: <<http://www.sema.mt.gov.br/transparencia/index.php/gestao-ambiental/unidades-de-conservacao>> Acessado em: Fev, 2021.

SEFAZ, Secretaria de Fazenda. **Tesouro estadual**. 2021. Disponível em: <<http://www5.sefaz.mt.gov.br/web/sefaz/fundo-de-participacao-dos-municipios>> Acessado em: Mar, 2021

SEROA DA MOTTA, R. **Manual para valoração econômica de recursos ambientais**. Rio de Janeiro: IPEA/MMA/PNUD/CNPq, 1997. 242p.

SKAF, M. **Parque Nacional da Chapada dos Guimarães – Relatório Geral**. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/edital/relatorio_final_chamamentopublico_03_2017_parna_chapada_guimaraes.pdf> Acessado em: Set, 2017.

SOUSA, G. B.; MOTA, J. A. Valoração econômica de áreas de recreação: o caso do Parque Metropolitano de Pituvaçu, Salvador, BA. **Economia**, v. 32, n. 1 (ano 30), p. 37-55, jan./jun. 2006.

SOUZA, T. V. S. B.; SIMÕES, H. B. **Contribuições do Turismo em Unidades de Conservação Federais para a Economia Brasileira - Efeitos dos Gastos dos Visitantes em 2017: Sumário Executivo**. ICMBio. Brasília, 2018.

TAKASAGO, M. *et al.* O potencial criador de emprego e renda do turismo no Brasil. **Pesquisa e planejamento econômico – PPE**, v. 40, n. 3 2010.

TAKASAGO, M.; MOLLO, M. L. R. Economia do turismo e combate à pobreza no Brasil: potencialidades e o papel do governo na redução de desigualdades. **Turismo em Análise**, v. 19, n. 2, 2008.

YOUNG, C. E. F.; FAUSTO, J. R. B. **Valoração de recursos naturais como instrumento de análise da expansão da fronteira agrícola na Amazônia**. (Anais). In: IPEA - I Encontro da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica, Rio de Janeiro, 1997.

YOUNG, C. E. F. Potencial de crescimento da economia verde no Brasil. **Política Ambiental**, n. 8, p. 88-97, 2011

YOUNG, C. E. F. *et al.* **Roteiro para a valoração de benefícios econômicos e sociais de unidades de conservação.** Livro eletrônico, 1ed. Curitiba – PR: Fundação Grupo Boticário de Proteção à Natureza, 2015.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DOS ASPECTOS TEXTURAIS DOS DEPÓSITOS MARINHO PRAIAL E EÓLICO NO LITORAL DE SANTA CATARINA, BRASIL³

Augusto Dietrich Schmitz
Norberto Olmiro Horn Filho

RESUMO

O presente trabalho relaciona a variabilidade textural do depósito marinho praial e depósito eólico ao longo do litoral de Santa Catarina, comparando os diferentes parâmetros estatísticos média, desvio padrão, assimetria e curtose. As amostras representam dados secundários obtidos em trabalhos anteriores e sintetizadas em cinco planilhas dos setores Sul, Centro-sul, Central, Centro-norte e Norte da zona litorânea catarinense. Dessa forma, cada amostra do depósito marinho praial possui pelo menos um correspondente para o depósito eólico. O banco de dados utilizado na pesquisa é composto de 242 amostras, sendo 70 amostras do depósito marinho praial e 172 amostras do depósito eólico. Os resultados obtidos mostraram que há uma homogeneidade granulométrica maior dos sedimentos nos setores Sul e Centro-sul, caracterizado por uma maturidade textural maior para o depósito eólico. Já, para os demais setores, as variações entre os diferentes parâmetros estatísticos são mais discrepantes, com depósitos eólicos que nem sempre apresentam uma maior maturidade textural. Ao longo de todo litoral, o depósito eólico apresentou, em média, areia fina moderadamente bem selecionada, enquanto o depósito marinho praial apresentou areia média bem selecionada.

PALAVRAS-CHAVE: Granulometria. Praia. Duna. Faixa de areia.

1. INTRODUÇÃO

Ao longo das últimas décadas, a planície costeira de Santa Catarina apresentou uma expansão demográfica e ocupacional muito maior ao comparar com o interior do estado, ligadas à processos de industrialização e desenvolvimento regional, relacionadas à expansão econômica e cultural. Dessa maneira, torna-se necessário o entendimento dos diferentes sistemas naturais que estão sendo ocupados na planície costeira.

Portanto, a presente pesquisa enfoca o sistema praia-duna de todo o litoral catarinense, que engloba as faixas de areia das praias atuais e os mantos eólicos à retaguarda, ambos de idade holocênica. Dessa maneira, os dois ambientes litorâneos possuem uma dinâmica sedimentar direta, onde um é influenciado pelo outro. De uma maneira geral, o depósito marinho praial fornece o aporte sedimentar para a formação do depósito eólico. Espera-se que haja uma maturidade textural maior nos sedimentos eólicos em relação aos sedimentos

³Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

marinhos. Com isso, serão analisadas as variações texturais dos sedimentos do depósito marinho praias e do depósito eólico ao longo do litoral catarinense.

Apesar da relevância da obtenção de dados primários de amostras de sedimentos superficiais nas praias e dunas do litoral de Santa Catarina, o referido procedimento não foi possível, devido ao período pandêmico em que a pesquisa foi desenvolvida. Desse modo, a presente pesquisa teve como base de dados os resultados obtidos dos trabalhos de Estevam (2019), Horn Filho *et al.* (2020) e Felix (2020), que discutiram o registro clástico quaternário, a variabilidade textural do sistema praia-duna e os sistemas deposicionais do Holoceno no litoral de Santa Catarina.

Como visto, devido a expansão demográfica, esses sistemas estão sujeitos a urbanização, podendo impedir ou modificar sua dinâmica natural. Dessa forma, o trabalho apresenta uma compilação de amostras coletadas por diversos autores ao longo da planície costeira de Santa Catarina nos setores Sul, Centro-sul, Central, Centro-norte e Norte, facilitando a análise textural e promovendo o entendimento das dinâmicas sedimentares dos sistemas deposicionais do tipo praia-duna, com a organização de tais amostras pelos aspectos granulométricos em base aos parâmetros estatísticos média, desvio padrão, assimetria e curtose.

2. CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

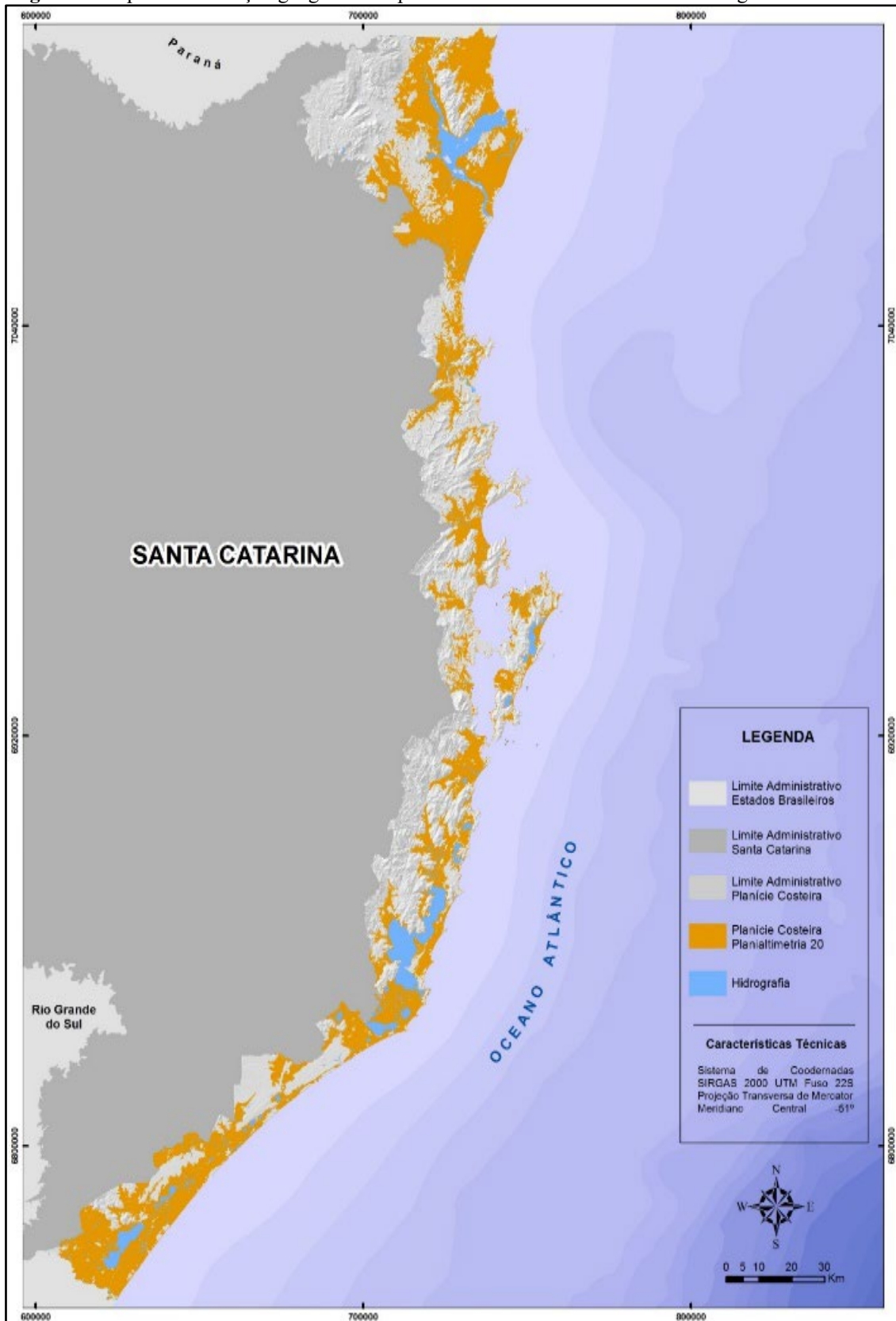
A área de estudo corresponde à zona litorânea da planície costeira de Santa Catarina (Figura 1), situada entre as latitudes sul 25°57'41'' e 29°23'55'', nos litorais Sudeste e Sul da região Sul do Brasil e bacias marginais marinhas de Santos e Pelotas, que se delimitam no Alto de Florianópolis, ao sul da ilha de Santa Catarina.

Considerando todos os recortes de seu litoral, Santa Catarina apresenta uma extensão de sua linha de costa de 696,3 km, podendo ser compartimentada em base às diferentes feições geológico-geomorfológicas litorâneas em oito setores: (I) Setentrional, (II) Nordeste, (III) Centro-norte, (IV) Central, (V) Centro-sul, (VI) Sudeste, (VII) Sul e (VIII) Meridional (DIEHL; HORN FILHO, 1996), agrupados mais recentemente em cinco setores: Norte, Centro-norte, Central, Centro-sul e Sul, segundo o Plano estadual de Gerenciamento Costeiro de Santa Catarina (GERCO/SC, 2010) (Figura 2).

Formada principalmente ao longo do Quaternário através da deposição de sedimentos provenientes do embasamento e das transgressões e regressões marinhas, a planície costeira abrange depósitos característicos de três sistemas deposicionais: sistema deposicional

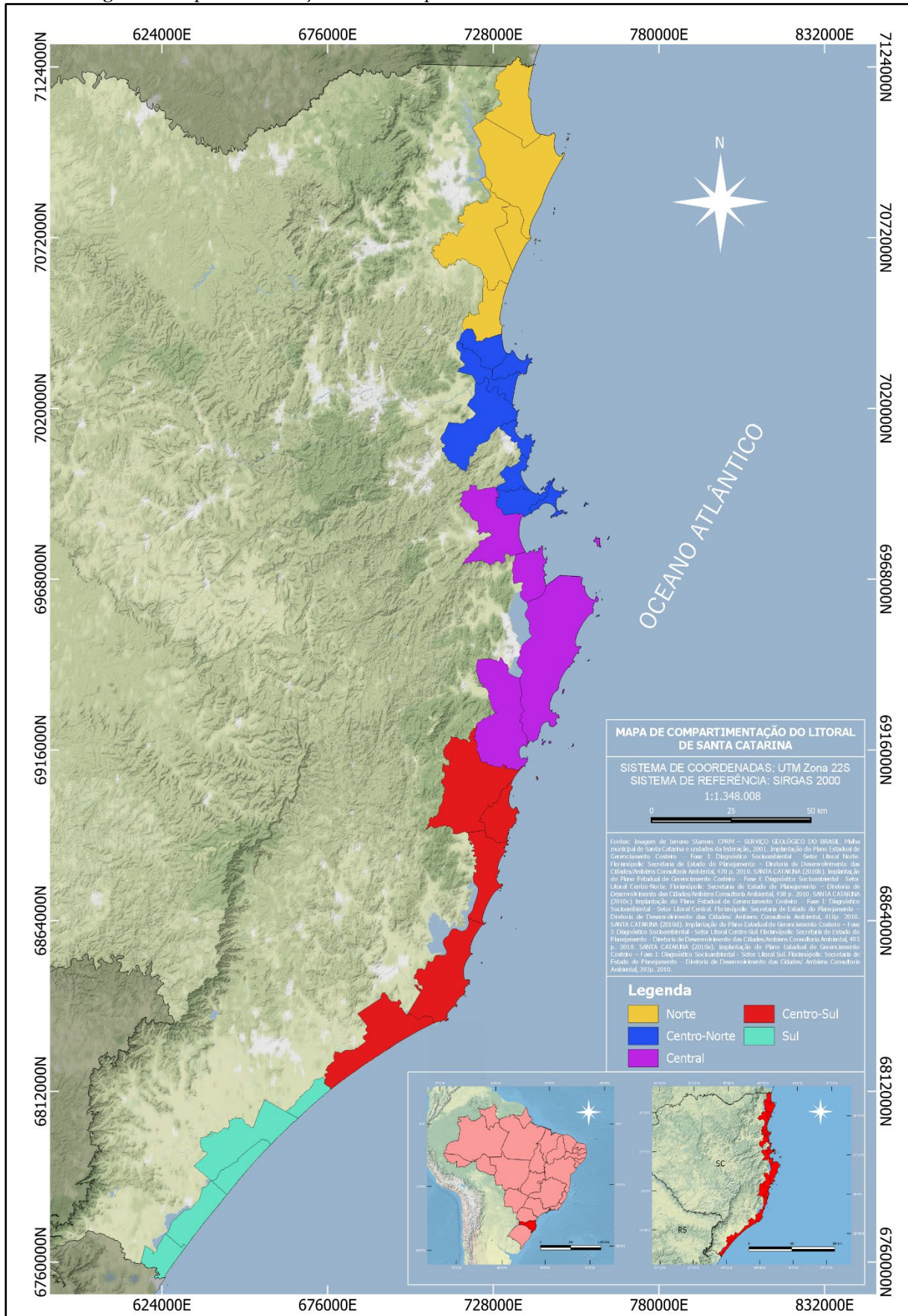
continental, sistema deposicional transicional ou litorâneo e sistema deposicional antropogênico.

Figura 1: Mapa de localização geográfica da planície costeira de Santa Catarina na região Sul do Brasil.



Fonte: Horn Filho *et al.* (2020).

Figura 2: Mapa de setorização dos municípios litorâneos da zona costeira de Santa Catarina.



Fonte: GERCO/SC (2010).

3. METODOLOGIA

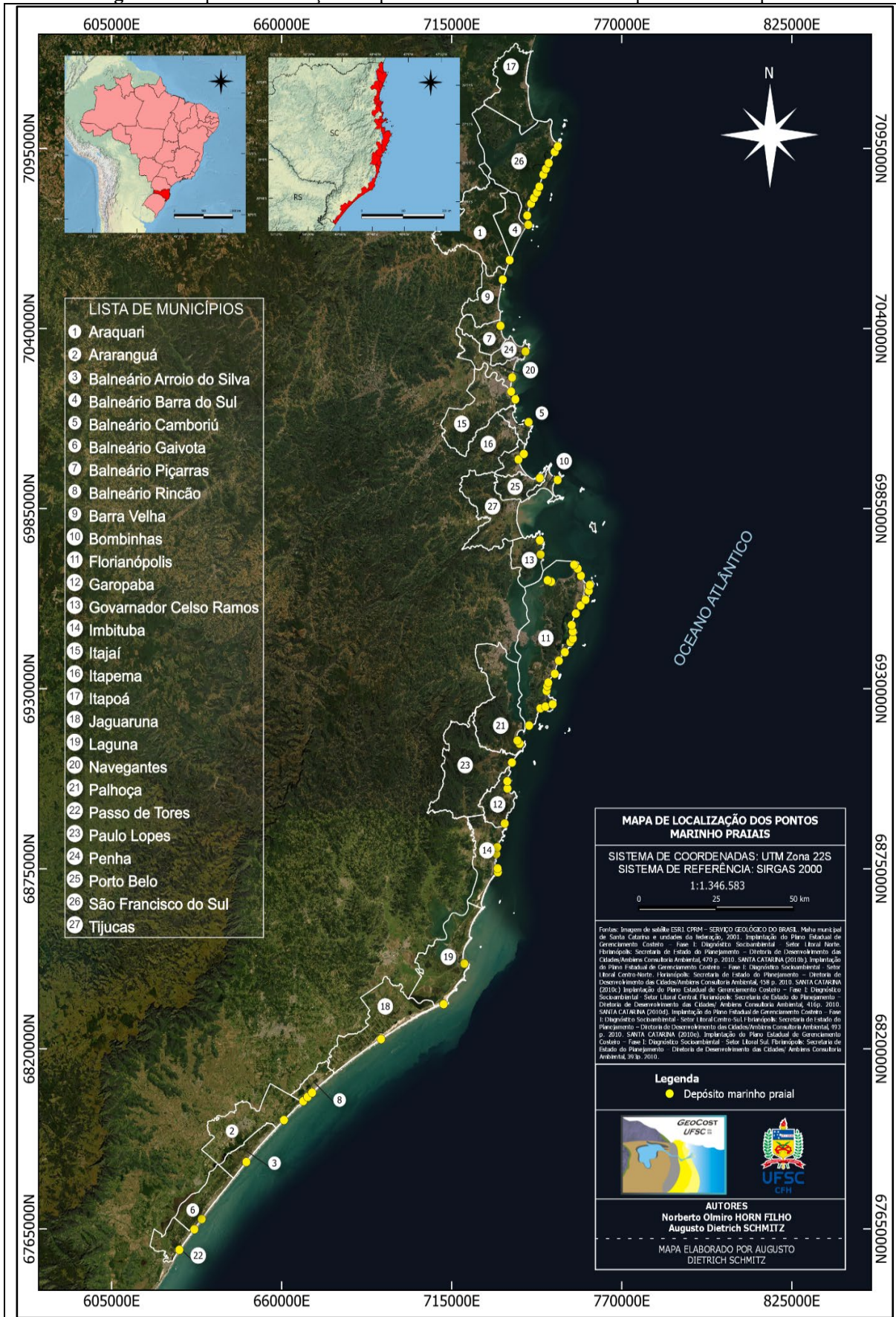
A pesquisa consistiu em reunir amostras de dados secundários em uma planilha *Excel* com as seguintes consistências: coordenadas geográficas, teores de cascalho, areia, finos e valores da média, desvio padrão, assimetria e curtose. As amostras foram individualizadas respeitando o depósito marinho praiado e o depósito eólico à retaguarda na planície costeira. Para cada amostra do depósito marinho praiado há pelo menos um correspondente do depósito eólico, para comparação entre os diferentes sistemas deposicionais. Todas as amostras do depósito marinho praiado foram obtidas do “Atlas geológico-oceanográfico das praias arenosas oceânicas de Santa Catarina, Brasil (APASC)” (HORN FILHO *et al.*, 2020) (Figura 3), enquanto as amostras do depósito eólico foram obtidas dos trabalhos relacionados no Quadro 1 (Figura 4).

Quadro 1: Pesquisas que relacionaram os depósitos eólicos na planície costeira de Santa Catarina.

Autor	Título
Amin Jr. (1999)	Geologia da planície costeira do sistema praiado Brava-Amores, Santa Catarina, Brasil
Estevam <i>et al.</i> (2014)	Textura dos sedimentos quaternários da planície costeira da Folha Paulo Lopes (SG-22-Z-D-V-4), SC, Brasil
Felix (2010)	Ambientes de sedimentação e sistemas deposicionais do Holoceno costeiro na ilha de Santa Catarina - SC/Brasil
Horn Filho (1997)	O Quaternário costeiro da ilha de São Francisco do Sul
Horn Filho (2001)	Aspectos geológicos da zona costeira de Imbituba e Garopaba, Santa Catarina, Brasil: relatório de projeto de pesquisa
Horn Filho (2015)	Diagnóstico geológico-geomorfológico da planície costeira de Jurerê, ilha de Santa Catarina, SC, Brasil: relatório técnico
Horn Filho <i>et al.</i> (2017)	Texto explicativo para o mapa geológico-geomorfológico do cabo de Santa Marta Grande, SC, Brasil
Jockyman <i>et al.</i> (2013)	Análise textural dos depósitos quaternários da planície costeira e plataforma continental interna do entorno da lagoa dos Esteves, setor sul da planície costeira de Santa Catarina
Leal (2005)	Avaliação do nível de vulnerabilidade ambiental da planície costeira do trecho Garopaba-Imbituba, litoral Sudeste do estado de Santa Catarina, em face aos aspectos geológicos e paleogeográficos
Livi (2009)	Geologia, geomorfologia e evolução paleogeográfica da planície costeira da ilha de Santa Catarina, litoral Central do estado de Santa Catarina, Brasil, em base ao estudo dos depósitos quaternários
Mateus (2017)	Geologia e paleogeografia do sistema deposicional laguna-barreira IV na região das lagoas dos Esteves, Faxinal e Mãe Luzia, sul do estado de Santa Catarina, Brasil
Mudat <i>et al.</i> (2006)	Geologia e geomorfologia costeira da folha Sombrio, SC
Puhl & Horn Filho (2010)	Geologia da planície Costeira das folhas Biguaçu e Camboriú, SC, em base ao estudo dos depósitos quaternários: relatório PIBIC/UFSC
Silveira (2016)	Caracterização geológica dos depósitos quaternários do entorno da laguna do Macacu, Garopaba, SC, Brasil
Souza (2007)	Distribuição dos minerais pesados ao longo do curso inferior do rio Itajaí-Açu/SC e sua correlação sedimentar com a planície costeira, praia e plataforma continental interna adjacente

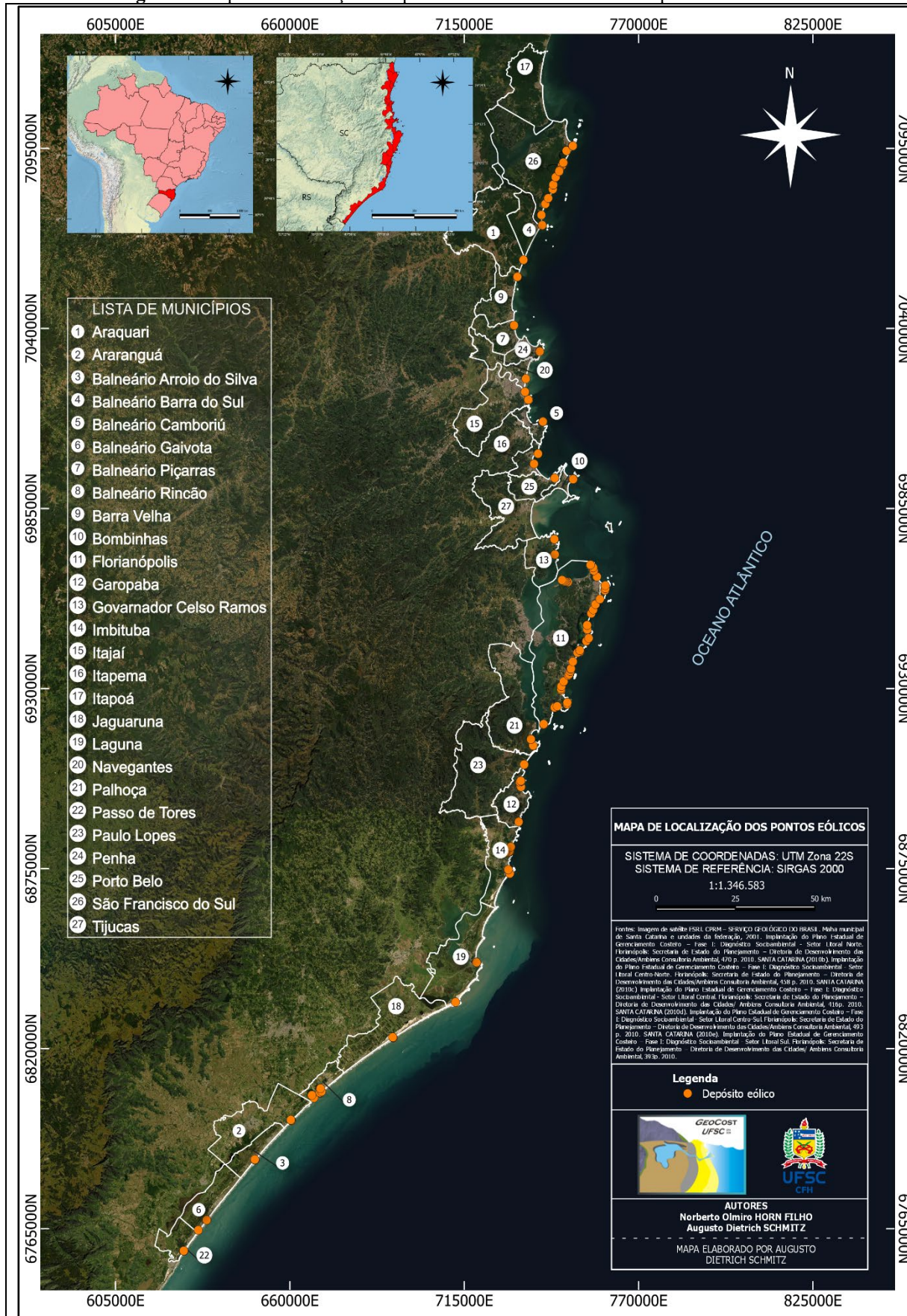
Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 3: Mapa de localização dos pontos amostrais referente ao depósito marinho praial.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 4: Mapa de localização dos pontos amostrais referente ao depósito eólico.



Fonte: Autoria própria (2022).

4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As planilhas a seguir representam os resultados das análises granulométricas dos sedimentos praias e eólicas, considerando os 27 municípios costeiros litorâneos nos setores Sul, Centro-sul, Central, Centro-norte e Norte. Para cada planilha, (P) representam os pontos do depósito marinho praias e (E) os pontos do depósito eólico correspondente.

As cores usadas nas planilhas representam as classificações das amostras em base às medidas de tendência central (média) e de dispersão (desvio padrão, assimetria e curtose).

4.1. Setor Sul

No setor Sul foram analisadas oito amostras do depósito marinho praias (P1 a P8) e 27 amostras do depósito eólico (E1 a E27), totalizando 35 amostras (Quadro 2), representando os cinco municípios litorâneos de Passo de Torres, Balneário Gaivota, Balneário Arroio do Silva, Araranguá, Balneário Rincão.

Quadro 2: Parâmetros estatísticos das 35 amostras consideradas no Setor Sul do litoral catarinense.

Ponto	Média	Textura	Desvio padrão	Seleção	Ski	Assimetria	Kg	Curtose
P1	2,43	Areia fina	0,36	Bem selecionado	0,10	Positiva	0,86	Platicúrtica
E1	2,58	Areia fina	0,45	Bem selecionado	0,17	Positiva	1,12	Leptocúrtica
E2	2,56	Areia fina	0,43	Bem selecionado	0,16	Positiva	1,10	Mesocúrtica
E3	2,49	Areia fina	0,31	Muito bem selecionado	0,00	Aproximadamente simétrica	0,73	Platicúrtica
E4	2,51	Areia fina	0,42	Bem selecionado	0,10	Positiva	1,05	Mesocúrtica
P2	2,35	Areia fina	0,37	Bem selecionado	0,12	Positiva	1,11	Leptocúrtica
E5	2,57	Areia fina	0,35	Muito bem selecionado	0,49	Muito positiva	0,13	Muito platicúrtica
P3	2,49	Areia fina	0,33	Muito bem selecionado	0,07	Aproximadamente simétrica	0,74	Platicúrtica
E6	2,54	Areia fina	0,39	Bem selecionado	0,14	Positiva	1,03	Mesocúrtica
E7	2,84	Areia fina	0,59	Moderadamente bem selecionado	0,28	Positiva	0,82	Platicúrtica
E8	2,57	Areia fina	0,45	Bem selecionado	0,16	Positiva	1,11	Leptocúrtica
E9	2,63	Areia fina	0,48	Bem selecionado	0,21	Positiva	1,12	Leptocúrtica
P4	2,45	Areia fina	0,37	Bem selecionado	0,13	Positiva	0,88	Platicúrtica
E10	2,52	Areia fina	0,33	Muito bem selecionado	0,01	Aproximadamente simétrica	0,76	Platicúrtica
E11	2,55	Areia fina	0,42	Bem selecionado	0,15	Positiva	1,08	Mesocúrtica
E12	2,57	Areia fina	0,43	Bem selecionado	0,16	Positiva	1,11	Leptocúrtica
E13	2,56	Areia fina	0,42	Bem selecionado	0,16	Positiva	1,08	Mesocúrtica
P5	2,51	Areia fina	0,39	Bem selecionado	0,00	Aproximadamente simétrica	0,90	Mesocúrtica
E14	2,49	Areia fina	0,31	Muito bem selecionado	0,00	Aproximadamente simétrica	0,73	Platicúrtica
E15	2,49	Areia fina	0,30	Muito bem selecionado	0,00	Aproximadamente simétrica	0,73	Platicúrtica
E16	2,49	Areia fina	0,31	Muito bem selecionado	0,00	Aproximadamente simétrica	0,73	Platicúrtica
E17	2,49	Areia fina	0,31	Muito bem selecionado	0,00	Aproximadamente simétrica	0,73	Platicúrtica
P6	2,21	Areia fina	0,42	Bem selecionado	0,04	Aproximadamente simétrica	1,05	Mesocúrtica
E18	2,16	Areia fina	0,46	Bem selecionado	0,47	Muito positiva	0,16	Muito platicúrtica
E19	2,34	Areia fina	0,48	Bem selecionado	0,48	Muito positiva	0,17	Muito platicúrtica
P7	2,38	Areia fina	0,39	Bem selecionado	0,09	Aproximadamente simétrica	0,98	Mesocúrtica

E20	2,28	Areia fina	0,28	Muito bem selecionado	0,64	Muito positiva	0,27	Muito platicúrtica
E21	2,27	Areia fina	0,26	Muito bem selecionado	0,64	Muito positiva	0,26	Muito platicúrtica
P8	2,18	Areia fina	0,41	Bem selecionado	0,02	Aproximadamente simétrica	1,06	Mesocúrtica
E22	2,50	Areia fina	0,34	Muito bem selecionado	0,01	Aproximadamente simétrica	0,76	Platicúrtica
E23	2,50	Areia fina	0,32	Muito bem selecionado	0,00	Aproximadamente simétrica	0,73	Platicúrtica
E24	2,50	Areia fina	0,34	Muito bem selecionado	0,03	Aproximadamente simétrica	0,79	Platicúrtica
E25	2,51	Areia fina	0,32	Muito bem selecionado	0,00	Aproximadamente simétrica	0,73	Platicúrtica
E26	2,23	Areia fina	0,47	Bem selecionado	0,47	Muito positiva	0,16	Muito platicúrtica
E27	2,35	Areia fina	0,43	Bem selecionado	0,46	Muito positiva	0,16	Muito platicúrtica

Fonte: Autoria própria (2022).

As amostras são as mais homogêneas nos parâmetros estatísticos comparado aos outros setores, também apresentam, em seu todo, as maiores médias, indicando a menor granulometria. Todas as 35 amostras apresentam textura areia fina, quer sejam eólicas ou marinho praias. No geral, a variação granulométrica entre o depósito marinho praias e o depósito eólico não é marcante, entretanto, os mantos eólicos apresentam uma granulometria menor, com média de 2,48 Ø quando relacionado ao depósito marinho praias com média de 2,38 Ø. A seleção entre os dois depósitos apresentou um valor médio muito semelhante (0,38 Ø), classificada em bem selecionada. A assimetria variou de 0,00 a 0,64 para o depósito eólico e de 0,00 a 0,13 para o depósito marinho praias, mantendo uma curva aproximadamente simétrica a muito positiva. A curtose média do depósito eólico foi classificada como platicúrtica (0,72) e mesocúrtica para o depósito marinho praias (0,95).

4.2. Setor Centro-Sul

No setor Centro-sul foram analisadas 11 amostras do depósito marinho praias (P9 a P19) e 32 amostras do depósito eólico (E28 a E59), totalizando 43 amostras (Quadro 3), representando os cinco municípios litorâneos de Jaguaruna, Laguna, Imbituba, Garopaba e Paulo Lopes.

A variação entre as texturas do depósito marinho praias e do depósito eólico começa a apresentar leves discrepâncias no setor Centro-sul, com destaque à areia média que aparece pela primeira vez no litoral catarinense em sete pontos de amostragem. A média do depósito marinho praias apresenta um valor maior (2,38 Ø) em relação ao depósito eólico (2,33 Ø), com um valor médio para todas as amostras de 2,35 Ø. Dentre as 11 praias analisadas, duas praias apresentam pelo menos um correspondente com tamanho crescente de grão do depósito marinho praias ao depósito eólico e duas apresentam um refinamento do tamanho do grão do depósito marinho praias ao depósito eólico. Em relação a seleção, o valor médio do desvio padrão foi 0,53 Ø e

0,50 Ø para os depósitos eólico e marinho praial, com valor médio total de 0,41 Ø. A assimetria variou de -0,26 a 0,56 para o depósito eólico e -0,25 a 0,18 para o depósito marinho praial, interpretando que, em alguns casos, há maior concentração de sedimentos grossos para o depósito eólico, pela curva negativa. A média da curtose do depósito eólico é muito platicúrtica (0,35) e a média do depósito marinho praial é mesocúrtica (1,05).

Quadro 3: Parâmetros estatísticos das 43 amostras consideradas no Setor Centro-sul do litoral catarinense.

Ponto	Média	Textura	Desvio padrão	Seleção	Ski	Assimetria	Kg	Curtose
P9	2,39	Areia fina	0,51	Moderadamente bem selecionado	0,08	Aproximadamente simétrica	0,96	Mesocúrtica
E28	2,44	Areia fina	0,43	Bem selecionado	-0,16	Negativa	1,09	Mesocúrtica
E29	2,51	Areia fina	0,32	Muito bem selecionado	0,00	Aproximadamente simétrica	0,74	Platicúrtica
E30	2,52	Areia fina	0,32	Muito bem selecionado	0,00	Aproximadamente simétrica	0,74	Platicúrtica
E31	2,51	Areia fina	0,33	Muito bem selecionado	0,00	Aproximadamente simétrica	0,74	Platicúrtica
P10	2,29	Areia fina	0,41	Bem selecionado	0,05	Aproximadamente simétrica	1,10	Mesocúrtica
E32	2,29	Areia fina	0,43	Bem selecionado	0,45	Muito positiva	0,16	Muito platicúrtica
P11	2,40	Areia fina	0,34	Muito bem selecionado	0,18	Positiva	0,91	Mesocúrtica
E33	2,55	Areia fina	0,41	Bem selecionado	0,16	Positiva	1,07	Mesocúrtica
E34	2,55	Areia fina	0,40	Bem selecionado	0,15	Positiva	1,04	Mesocúrtica
E35	2,51	Areia fina	0,32	Muito bem selecionado	0,00	Aproximadamente simétrica	0,74	Platicúrtica
E36	2,53	Areia fina	0,35	Bem selecionado	0,07	Aproximadamente simétrica	0,87	Platicúrtica
P12	2,63	Areia fina	0,36	Bem selecionado	-0,06	Aproximadamente simétrica	1,03	Mesocúrtica
E37	2,67	Areia fina	0,32	Muito bem selecionado	0,45	Muito positiva	0,20	Muito platicúrtica
P13	2,76	Areia fina	0,35	Muito bem selecionado	0,00	Aproximadamente simétrica	1,30	Leptocúrtica
E38	2,39	Areia fina	0,34	Muito bem selecionado	0,58	Muito positiva	0,15	Muito platicúrtica
P14	2,67	Areia fina	0,32	Muito bem selecionado	-0,13	Negativa	1,26	Leptocúrtica
E39	2,51	Areia fina	0,37	Bem selecionado	0,07	Aproximadamente simétrica	0,85	Platicúrtica
E40	2,49	Areia fina	0,36	Bem selecionado	-0,05	Aproximadamente simétrica	0,82	Platicúrtica
E41	2,47	Areia fina	0,42	Bem selecionado	-0,15	Negativa	1,04	Mesocúrtica
E42	1,67	Areia média	0,53	Moderadamente bem selecionado	0,25	Positiva	1,13	Leptocúrtica
E43	2,31	Areia fina	0,55	Moderadamente bem selecionado	0,46	Muito positiva	0,15	Muito platicúrtica
P15	2,74	Areia fina	0,24	Muito bem selecionado	0,02	Aproximadamente simétrica	1,16	Leptocúrtica
E44	2,61	Areia fina	0,36	Bem selecionado	0,44	Muito positiva	0,16	Muito platicúrtica
P16	2,56	Areia fina	0,35	Muito bem selecionado	-0,01	Aproximadamente simétrica	0,85	Platicúrtica
E45	2,46	Areia fina	0,36	Bem selecionado	0,51	Muito positiva	0,13	Muito platicúrtica
E46	2,46	Areia fina	0,36	Bem selecionado	0,51	Muito positiva	0,13	Muito platicúrtica
P17	2,43	Areia fina	0,36	Bem selecionado	0,12	Positiva	0,90	Platicúrtica
E47	2,42	Areia fina	0,38	Bem selecionado	0,56	Muito positiva	0,15	Muito platicúrtica

E48	2,18	Areia fina	0,49	Bem selecionado	0,41	Muito positiva	0,23	Muito platicúrtica
E49	2,37	Areia fina	3,70	Muito pobremente selecionado	0,53	Muito positiva	0,16	Muito platicúrtica
E50	1,60	Areia média	0,40	Bem selecionado	0,53	Muito positiva	0,17	Muito platicúrtica
P18	1,94	Areia média	0,62	Moderadamente bem selecionado	-0,25	Negativa	1,08	Mesocúrtica
E51	2,50	Areia fina	0,37	Bem selecionado	0,40	Muito positiva	0,13	Muito platicúrtica
E52	2,26	Areia fina	0,55	Moderadamente bem selecionado	-0,26	Negativa	1,06	Mesocúrtica
E53	2,00	Areia fina	0,62	Moderadamente bem selecionado	-0,02	Aproximadamente simétrica	0,74	Platicúrtica
E54	2,07	Areia fina	0,63	Moderadamente bem selecionado	-0,14	Negativa	0,76	Platicúrtica
E55	2,51	Areia fina	0,32	Muito bem selecionado	0,00	Aproximadamente simétrica	0,74	Platicúrtica
P19	1,38	Areia média	0,67	Moderadamente bem selecionado	-0,08	Aproximadamente simétrica	1,03	Mesocúrtica
E56	1,75	Areia média	0,60	Moderadamente bem selecionado	0,22	Positiva	0,96	Mesocúrtica
E57	1,97	Areia média	0,62	Moderadamente bem selecionado	0,07	Aproximadamente simétrica	0,74	Platicúrtica
E58	1,93	Areia média	0,63	Moderadamente bem selecionado	0,15	Positiva	0,76	Platicúrtica
E59	2,65	Areia fina	0,49	Bem selecionado	0,22	Positiva	1,12	Leptocúrtica

Fonte: Autoria própria (2022).

4.3. Setor Central

No setor Central foram analisadas 28 amostras do depósito marinho praiar (P20 a P47) e 53 amostras do depósito eólico (E60 a E112), totalizando 81 amostras (Quadro 4), representando os quatro municípios litorâneos de Palhoça, Florianópolis, Governador Celso Ramos, Tijucas.

A variação da granulometria para o depósito marinho praiar no setor Central apresenta uma grande discrepância, variando de areias finas a areias muito grossas, com uma média que classifica todas as amostras como areia fina (2,06 Ø). A média do depósito marinho praiar é de areia média (1,85 Ø), enquanto que a média do depósito eólico é de areia fina (2,16 Ø). Das 28 praias analisadas, 10 apresentam um refinamento no tamanho de grão do depósito marinho praiar para o depósito eólico e três praias apresentam pelo menos um correspondente eólico com maior granulometria do depósito eólico em relação ao marinho praiar. A média do grau de seleção é igual para os dois depósitos (0,49 Ø), sendo classificado como bem selecionado, entretanto, segundo a Planilha 3, nota-se uma marcante ocorrência de casos onde o grau de seleção do depósito eólico é menor quando comparado ao depósito marinho praiar, sendo que em 15 casos, pelo menos um correspondente eólico apresenta menor grau de seleção em relação ao marinho praiar. Em seis casos, ocorreu um aumento do grau de seleção de pelo menos um correspondente do depósito eólico em relação ao depósito marinho praiar e os outros seis casos não tiveram nenhuma mudança. A assimetria do depósito eólico variou de -0,25 a 0,36 e do

depósito marinho praiar variou de -0,36 a 0,30, o que pode demonstrar uma maior concentração de sedimentos grossos para o depósito marinho praiar. A curtose média (0,96) de ambos os depósitos é mesocúrtica (0,92 - eólico e 1,04 - marinho praiar).

Quadro 4: Parâmetros estatísticos das 81 amostras consideradas no Setor Central do litoral catarinense.

Ponto	Média	Textura	Desvio Padrão	Seleção	Ski	Assimetria	Kg	Curtose
P20	2,38	Areia fina	0,31	Muito bem selecionado	0,30	Muito positiva	0,97	Mesocúrtica
E60	2,48	Areia fina	0,55	Moderadamente bem selecionado	0,47	Muito positiva	0,18	Muito platicúrtica
P21	2,53	Areia fina	0,34	Muito bem selecionado	-0,05	Aproximadamente simétrica	0,78	Platicúrtica
E61	2,37	Areia fina	0,51	Moderadamente bem selecionado	-0,22	Negativa	1,09	Mesocúrtica
E62	2,53	Areia fina	0,37	Bem selecionado	0,11	Positiva	0,94	Mesocúrtica
E63	2,59	Areia fina	0,45	Bem selecionado	0,17	Positiva	1,11	Leptocúrtica
E64	2,58	Areia fina	0,45	Bem selecionado	0,17	Positiva	1,12	Leptocúrtica
P22	2,45	Areia fina	0,32	Muito bem selecionado	0,17	Positiva	0,76	Platicúrtica
E65	2,25	Areia fina	0,68	Moderadamente bem selecionado	0,14	Positiva	1,43	Leptocúrtica
E66	2,22	Areia fina	0,58	Moderadamente bem selecionado	0,00	Aproximadamente simétrica	1,16	Leptocúrtica
P23	2,35	Areia fina	0,38	Bem selecionado	0,13	Positiva	1,23	Leptocúrtica
E67	2,46	Areia fina	0,57	Moderadamente bem selecionado	0,05	Aproximadamente simétrica	1,15	Leptocúrtica
P24	2,60	Areia fina	0,40	Bem selecionado	0,03	Aproximadamente simétrica	0,98	Mesocúrtica
E68	2,31	Areia fina	0,61	Moderadamente bem selecionado	0,11	Positiva	1,27	Leptocúrtica
P25	1,43	Areia média	0,97	Moderadamente selecionado	-0,36	Muito negativa	0,83	Platicúrtica
E69	1,78	Areia média	0,52	Moderadamente bem selecionado	-0,06	Aproximadamente simétrica	1,01	Mesocúrtica
E70	2,02	Areia fina	0,50	Moderadamente bem selecionado	-0,09	Aproximadamente simétrica	1,07	Mesocúrtica
E71	2,05	Areia fina	0,51	Moderadamente bem selecionado	-0,08	Aproximadamente simétrica	1,11	Leptocúrtica
P26	-0,03	Areia muito grossa	0,54	Moderadamente bem selecionado	0,19	Positiva	1,46	Leptocúrtica
E72	2,17	Areia fina	0,76	Moderadamente selecionado	0,16	Positiva	1,64	Muito leptocúrtica
E73	1,86	Areia média	0,72	Moderadamente selecionado	0,02	Aproximadamente simétrica	1,32	Leptocúrtica
P27	-0,01	Areia muito grossa	0,55	Moderadamente bem selecionado	-0,21	Negativa	1,08	Mesocúrtica
E74	2,31	Areia fina	0,60	Moderadamente bem selecionado	0,12	Positiva	1,34	Leptocúrtica
P28	1,40	Areia média	0,98	Moderadamente selecionado	-0,33	Muito negativa	0,79	Platicúrtica
E75	2,07	Areia fina	0,52	Moderadamente bem selecionado	-0,09	Aproximadamente simétrica	1,07	Mesocúrtica
P29	1,50	Areia média	0,96	Moderadamente selecionado	-0,26	Negativa	0,67	Platicúrtica
E76	2,19	Areia fina	0,47	Bem selecionado	-0,04	Aproximadamente simétrica	1,10	Mesocúrtica
E77	2,23	Areia fina	0,49	Bem selecionado	-0,06	Aproximadamente simétrica	1,11	Leptocúrtica
E78	1,83	Areia média	0,60	Moderadamente bem selecionado	-0,09	Aproximadamente simétrica	1,09	Mesocúrtica
E79	1,67	Areia média	0,61	Moderadamente bem selecionado	-0,07	Aproximadamente simétrica	0,98	Mesocúrtica
E80	2,28	Areia fina	0,35	Bem selecionado	0,51	Muito positiva	0,22	Muito platicúrtica
P30	1,24	Areia média	0,69	Moderadamente bem selecionado	0,29	Positiva	0,90	Mesocúrtica
E81	2,23	Areia fina	0,48	Bem selecionado	-0,04	Aproximadamente simétrica	1,13	Leptocúrtica
P31	2,05	Areia fina	0,60	Moderadamente bem selecionado	-0,33	Muito negativa	1,26	Leptocúrtica
E82	2,46	Areia fina	0,39	Bem selecionado	-0,14	Negativa	1,01	Mesocúrtica

E83	2,48	Areia fina	0,34	Muito bem selecionado	-0,04	Aproximadamente simétrica	0,81	Platicúrtica
E84	2,31	Areia fina	0,52	Moderadamente bem selecionado	-0,25	Negativa	1,10	Mesocúrtica
E85	2,38	Areia fina	0,48	Bem selecionado	-0,21	Negativa	1,11	Leptocúrtica
E86	1,63	Areia média	0,57	Moderadamente bem selecionado	-0,04	Aproximadamente simétrica	0,99	Mesocúrtica
E87	2,27	Areia fina	0,61	Moderadamente bem selecionado	0,02	Aproximadamente simétrica	1,16	Leptocúrtica
P32	1,46	Areia média	0,47	Bem selecionado	0,10	Aproximadamente simétrica	1,02	Mesocúrtica
E88	1,78	Areia média	0,70	Moderadamente bem selecionado	-0,10	Aproximadamente simétrica	1,00	Mesocúrtica
P33	2,35	Areia fina	0,38	Bem selecionado	0,07	Aproximadamente simétrica	1,06	Mesocúrtica
E89	2,22	Areia fina	0,45	Bem selecionado	-0,03	Aproximadamente simétrica	1,11	Leptocúrtica
P34	2,48	Areia fina	0,33	Muito bem selecionado	0,04	Aproximadamente simétrica	0,74	Platicúrtica
E90	2,20	Areia fina	0,49	Bem selecionado	-0,07	Aproximadamente simétrica	1,13	Leptocúrtica
P35	2,37	Areia fina	0,33	Muito bem selecionado	0,17	Positiva	1,05	Mesocúrtica
E91	2,00	Areia fina	0,50	Moderadamente bem selecionado	-0,07	Aproximadamente simétrica	1,06	Mesocúrtica
P36	0,37	Areia grossa	0,42	Bem selecionado	0,20	Positiva	1,36	Leptocúrtica
E92	1,84	Areia média	0,53	Moderadamente bem selecionado	-0,06	Aproximadamente simétrica	1,04	Mesocúrtica
E93	1,76	Areia média	0,54	Moderadamente bem selecionado	-0,07	Aproximadamente simétrica	1,00	Mesocúrtica
P37	1,53	Areia média	0,73	Moderadamente selecionado	-0,23	Negativa	0,83	Platicúrtica
E94	1,68	Areia média	0,53	Moderadamente bem selecionado	-0,06	Aproximadamente simétrica	1,02	Mesocúrtica
P38	2,01	Areia fina	0,54	Moderadamente bem selecionado	-0,29	Negativa	1,10	Mesocúrtica
E95	1,10	Areia média	0,77	Moderadamente selecionado	0,09	Aproximadamente simétrica	0,90	Mesocúrtica
P39	2,38	Areia fina	0,29	Muito bem selecionado	0,27	Positiva	0,92	Mesocúrtica
E96	2,27	Areia fina	0,32	Muito bem selecionado	0,51	Muito positiva	0,21	Muito platicúrtica
E97	2,03	Areia fina	0,46	Bem selecionado	-0,09	Aproximadamente simétrica	1,06	Mesocúrtica
P40	2,40	Areia fina	0,39	Bem selecionado	0,01	Aproximadamente simétrica	1,01	Mesocúrtica
E98	2,09	Areia fina	0,45	Bem selecionado	-0,10	Aproximadamente simétrica	1,06	Mesocúrtica
P41	1,71	Areia média	0,43	Bem selecionado	-0,12	Negativa	1,34	Leptocúrtica
E99	2,14	Areia fina	0,43	Bem selecionado	-0,07	Aproximadamente simétrica	1,06	Mesocúrtica
P42	2,17	Areia fina	0,34	Muito bem selecionado	-0,11	Negativa	1,42	Leptocúrtica
E100	2,36	Areia fina	0,43	Bem selecionado	0,11	Positiva	1,12	Leptocúrtica
E101	2,02	Areia fina	0,50	Moderadamente bem selecionado	-0,05	Aproximadamente simétrica	1,08	Mesocúrtica
P43	1,93	Areia média	0,44	Bem selecionado	-0,14	Negativa	0,98	Mesocúrtica
E102	2,14	Areia fina	0,47	Bem selecionado	-0,07	Aproximadamente simétrica	1,07	Mesocúrtica
P44	2,38	Areia fina	0,38	Bem selecionado	0,07	Aproximadamente simétrica	1,05	Mesocúrtica
E103	2,34	Areia fina	0,28	Muito bem selecionado	0,63	Muito positiva	0,17	Muito platicúrtica
E104	2,35	Areia fina	0,32	Muito bem selecionado	0,58	Muito positiva	0,19	Muito platicúrtica
P45	2,30	Areia fina	0,40	Bem selecionado	0,00	Aproximadamente simétrica	1,24	Leptocúrtica
E105	1,99	Areia média	0,53	Moderadamente bem selecionado	-0,02	Aproximadamente simétrica	1,08	Mesocúrtica
E106	2,29	Areia fina	0,24	Muito bem selecionado	0,59	Muito positiva	0,17	Muito platicúrtica
E107	2,23	Areia fina	0,29	Muito bem selecionado	0,48	Muito positiva	0,22	Muito platicúrtica
E108	2,18	Areia fina	0,32	Muito bem selecionado	0,43	Muito positiva	0,21	Muito platicúrtica
E109	2,33	Areia fina	0,33	Muito bem selecionado	0,55	Muito positiva	0,20	Muito platicúrtica

P46	2,66	Areia fina	0,35	Muito bem selecionado	-0,13	Negativa	1,29	Leptocúrtica
E110	2,38	Areia fina	0,38	Bem selecionado	0,55	Muito positiva	0,16	Muito platicúrtica
P47	1,38	Areia média	0,40	Bem selecionado	0,00	Aproximadamente simétrica	1,02	Mesocúrtica
E111	2,50	Areia fina	0,36	Bem selecionado	0,03	Aproximadamente simétrica	0,83	Platicúrtica
E112	2,47	Areia fina	0,42	Bem selecionado	-0,15	Negativa	1,05	Mesocúrtica

Fonte: Autoria própria (2022).

4.4. Setor Centro-Norte

No setor Centro-norte foram analisadas 10 amostras do depósito marinho praiar (P48 a P57) e 29 amostras do depósito eólico (E113 a E141), totalizando 39 amostras (Quadro 5), representando os oito municípios litorâneos de Porto Belo, Bombinhas, Itapema, Balneário Camboriú, Itajaí, Navegantes, Penha, Balneário Piçarras.

A média do tamanho de grão das amostras do depósito eólico é de areia fina (2,10 Ø), enquanto que para o depósito marinho praiar é de areia grossa (1,67 Ø) com média geral de 1,99 Ø (areia média). Quatro classes de areia são observadas no setor Centro-norte, de areia muito fina a areia grossa. Das 10 praias analisadas, três praias apresentam um refinamento no tamanho do grão do depósito eólico em relação ao depósito marinho praiar. Em relação ao P57 (areia média), as amostras eólicas correspondentes, E139, E140 e E141 apresentaram grãos de tamanho areia fina, areia média e areia grossa, respectivamente. O grau de seleção das amostras do depósito eólico e do depósito marinho praiar é, em média, moderadamente bem selecionado (0,59 Ø), com valor médio de 0,60 Ø para o depósito eólico e 0,54 Ø para o depósito marinho praiar. Em apenas dois casos o grau de seleção aumentou para todos os correspondentes. Para os demais, a variação é bastante marcante, com uma seleção não muito bem distribuída. A assimetria variou de -0,26 a 0,78 para o depósito eólico e de -0,20 a 0,22 para o depósito marinho praiar. A curtose média para ambos os depósitos é mesocúrtica (0,94) com valor médio de 0,93 para o depósito eólico e 0,98 para o depósito marinho praiar.

Quadro 5: Parâmetros estatísticos das 39 amostras consideradas no Setor Centro-norte do litoral catarinense.

Ponto	Média	Textura	Desvio Padrão	Seleção	Ski	Assimetria	Kg	Curtose
P48	2,57	Areia fina	0,36	Bem selecionado	-0,05	Aproximadamente simétrica	0,90	Mesocúrtica
E113	2,69	Areia fina	0,89	Moderadamente selecionado	-0,06	Aproximadamente simétrica	1,57	Muito leptocúrtica
E114	2,56	Areia fina	0,43	Bem selecionado	0,17	Positiva	1,11	Mesocúrtica
E115	2,49	Areia fina	0,31	Muito bem selecionado	0,00	Aproximadamente simétrica	0,74	Platicúrtica
E116	2,52	Areia fina	0,42	Bem selecionado	0,10	Positiva	1,05	Mesocúrtica
P49	2,06	Areia fina	0,39	Bem selecionado	-0,20	Negativa	1,05	Mesocúrtica
E117	2,63	Areia fina	0,34	Muito bem selecionado	0,45	Muito positiva	0,17	Muito platicúrtica
E118	2,24	Areia fina	0,56	Moderadamente bem selecionado	-0,26	Negativa	1,01	Mesocúrtica
E119	2,35	Areia fina	0,50	Bem selecionado	-0,23	Negativa	1,11	Mesocúrtica
E120	2,27	Areia fina	0,55	Moderadamente bem selecionado	-0,26	Negativa	1,07	Mesocúrtica
E121	2,44	Areia fina	0,43	Bem selecionado	-0,16	Negativa	1,09	Mesocúrtica

P50	1,10	Areia média	0,94	Moderadamente selecionado	0,20	Positiva	0,62	Muito platicúrtica
E122	2,53	Areia fina	0,34	Muito bem selecionado	0,04	Aproximadamente simétrica	0,80	Platicúrtica
E123	2,71	Areia fina	0,53	Moderadamente bem selecionado	0,26	Positiva	1,09	Mesocúrtica
P51	0,59	Areia grossa	0,45	Bem selecionado	-0,17	Negativa	1,15	Leptocúrtica
E124	3,20	Areia muito fina	2,37	Muito pobremente selecionado	0,78	Muito positiva	0,22	Muito platicúrtica
P52	0,73	Areia grossa	0,44	Bem selecionado	-0,03	Aproximadamente simétrica	1,10	Mesocúrtica
E125	1,16	Areia média	0,60	Moderadamente bem selecionado	-0,21	Negativa	0,81	Platicúrtica
E126	1,15	Areia média	0,61	Moderadamente bem selecionado	-0,20	Negativa	0,80	Platicúrtica
E127	1,30	Areia média	0,54	Moderadamente bem selecionado	-0,25	Negativa	1,08	Mesocúrtica
E128	1,01	Areia média	0,63	Moderadamente bem selecionado	0,00	Aproximadamente simétrica	0,74	Platicúrtica
P53	1,76	Areia média	0,47	Bem selecionado	-0,06	Aproximadamente simétrica	0,92	Mesocúrtica
E129	1,86	Areia média	0,36	Bem selecionado	0,48	Muito positiva	0,16	Muito platicúrtica
E130	1,90	Areia média	0,96	Moderadamente selecionado	0,72	Muito positiva	0,22	Muito platicúrtica
P54	2,48	Areia fina	0,39	Bem selecionado	0,22	Positiva	0,91	Mesocúrtica
E131	2,54	Areia fina	0,54	Moderadamente bem selecionado	0,04	Aproximadamente simétrica	1,32	Leptocúrtica
E132	2,71	Areia fina	0,55	Moderadamente bem selecionado	0,25	Positiva	1,07	Mesocúrtica
E133	2,55	Areia fina	0,52	Moderadamente bem selecionado	0,05	Aproximadamente simétrica	1,28	Leptocúrtica
E134	2,45	Areia fina	0,41	Bem selecionado	-0,15	Negativa	1,06	Mesocúrtica
P55	2,73	Areia fina	0,60	Moderadamente bem selecionado	-0,06	Aproximadamente simétrica	1,18	Leptocúrtica
E135	2,28	Areia fina	0,61	Moderadamente bem selecionado	-0,18	Negativa	1,09	Mesocúrtica
P56	1,47	Areia média	0,45	Bem selecionado	0,02	Aproximadamente simétrica	1,03	Mesocúrtica
E136	1,55	Areia média	0,43	Bem selecionado	0,16	Positiva	1,08	Mesocúrtica
E137	1,67	Areia média	0,54	Moderadamente bem selecionado	0,23	Positiva	1,08	Mesocúrtica
E138	1,68	Areia média	0,55	Moderadamente bem selecionado	0,24	Positiva	1,07	Mesocúrtica
P57	1,22	Areia média	0,89	Moderadamente selecionado	-0,10	Aproximadamente simétrica	0,94	Mesocúrtica
E139	2,13	Areia fina	0,61	Moderadamente bem selecionado	-0,18	Negativa	0,78	Platicúrtica
E140	1,57	Areia média	0,62	Moderadamente bem selecionado	0,05	Aproximadamente simétrica	1,34	Leptocúrtica
E141	0,93	Areia grossa	0,79	Moderadamente selecionado	0,03	Aproximadamente simétrica	0,93	Mesocúrtica

Fonte: Autoria própria (2022).

4.5. Setor Norte

No setor Centro-norte foram analisadas 13 amostras do depósito marinho praiado (P48 a P57) e 31 amostras do depósito eólico (E113 a E141), totalizando 44 amostras (Quadro 6), representando os cinco municípios litorâneos de Barra Velha, Araquari, Balneário Barra do Sul, São Francisco do Sul e Itapoá.

O valor da média das amostras dos depósitos marinho praiado e eólico é areia média (1,76 Ø), sendo 1,91 Ø para o depósito eólico e 1,38 Ø para o depósito marinho praiado. Das 13 praias analisadas, pelo menos um correspondente das sete amostras do depósito marinho praiado

apresenta uma diminuição no tamanho do grão no depósito eólico. Apenas em uma situação a granulometria aumentou do depósito marinho praiar para o depósito eólico (P68 e E165). O desvio padrão médio é de 0,56 Ø, sendo 0,55 Ø para o depósito eólico e 0,59 Ø para o depósito marinho praiar. O grau de seleção aumentou em sete praias e diminuiu em duas praias. Na amostra P64 (bem selecionada), seus correspondentes E155 e E156 apresentam-se pobremente selecionado e muito bem selecionado, respectivamente. A assimetria do depósito eólico variou de -0,25 a 0,75 e do depósito marinho praiar de -0,17 a 0,14. A curtose do depósito eólico é muito platicúrtica (0,42) e do depósito marinho praiar é mesocúrtica (0,99), com valor médio de 0,59 (platicúrtica).

Quadro 6: Parâmetros estatísticos das 44 amostras consideradas no Setor Norte do litoral catarinense.

Ponto	Média	Textura	Desvio Padrão	Seleção	Ski	Assimetria	Kg	Curtose
P58	1,29	Areia média	0,75	Moderadamente selecionado	-0,02	Aproximadamente simétrica	0,86	Platicúrtica
E142	1,62	Areia média	0,78	Moderadamente selecionado	0,02	Aproximadamente simétrica	1,15	Leptocúrtica
E143	1,83	Areia média	0,63	Moderadamente bem selecionado	0,18	Positiva	0,81	Platicúrtica
E144	1,90	Areia média	0,65	Moderadamente bem selecionado	0,09	Aproximadamente simétrica	0,76	Platicúrtica
P59	0,53	Areia grossa	0,72	Moderadamente selecionado	0,01	Aproximadamente simétrica	1,32	Leptocúrtica
E145	0,95	Areia grossa	0,62	Moderadamente bem selecionado	0,10	Aproximadamente simétrica	0,75	Platicúrtica
E146	1,28	Areia média	0,56	Moderadamente bem selecionado	-0,25	Negativa	1,05	Mesocúrtica
E147	1,82	Areia média	0,63	Moderadamente bem selecionado	0,19	Positiva	0,83	Platicúrtica
E148	1,39	Areia média	0,67	Moderadamente bem selecionado	-0,07	Aproximadamente simétrica	1,30	Leptocúrtica
P60	1,47	Areia média	0,59	Moderadamente bem selecionado	0,14	Positiva	0,92	Mesocúrtica
E149	1,76	Areia média	0,59	Moderadamente bem selecionado	0,24	Positiva	0,94	Mesocúrtica
E150	1,83	Areia média	0,62	Moderadamente bem selecionado	0,22	Positiva	0,82	Platicúrtica
E151	1,80	Areia média	0,61	Moderadamente bem selecionado	0,25	Positiva	0,89	Platicúrtica
P61	2,09	Areia fina	0,55	Moderadamente bem selecionado	0,05	Aproximadamente simétrica	0,97	Mesocúrtica
E152	2,58	Areia fina	0,34	Muito bem selecionado	0,59	Muito positiva	0,20	Muito platicúrtica
P62	1,56	Areia média	0,60	Moderadamente bem selecionado	0,01	Aproximadamente simétrica	0,85	Platicúrtica
E153	1,93	Areia média	0,55	Moderadamente bem selecionado	0,57	Muito positiva	0,14	Muito platicúrtica
P63	1,97	Areia média	0,53	Moderadamente bem selecionado	-0,23	Negativa	1,06	Mesocúrtica
E154	1,43	Areia média	0,54	Moderadamente bem selecionado	0,51	Muito positiva	0,14	Muito platicúrtica
P64	2,10	Areia fina	0,43	Bem selecionado	-0,17	Negativa	1,18	Leptocúrtica
E155	3,30	Areia muito fina	1,99	Pobremente selecionado	0,75	Muito positiva	0,47	Muito platicúrtica
E156	2,61	Areia fina	0,32	Muito bem selecionado	0,60	Muito positiva	0,22	Muito platicúrtica
P65	1,21	Areia média	0,77	Moderadamente selecionado	0,01	Aproximadamente simétrica	0,87	Platicúrtica
E157	2,63	Areia fina	0,24	Muito bem selecionado	0,51	Muito positiva	0,16	Muito platicúrtica
E158	2,75	Areia fina	0,24	Muito bem selecionado	0,56	Muito positiva	0,16	Muito platicúrtica

P66	1,22	Areia média	0,70	Moderadamente bem selecionado	0,12	Positiva	0,89	Platicúrtica
E159	2,77	Areia fina	0,38	Bem selecionado	0,51	Muito positiva	0,19	Muito platicúrtica
P67	1,30	Areia média	0,73	Moderadamente selecionado	0,09	Aproximadamente simétrica	0,87	Platicúrtica
E160	2,35	Areia fina	0,43	Bem selecionado	0,52	Muito positiva	0,15	Muito platicúrtica
E161	2,29	Areia fina	0,38	Bem selecionado	0,52	Muito positiva	0,19	Muito platicúrtica
E162	1,17	Areia média	0,42	Bem selecionado	0,52	Muito positiva	0,16	Muito platicúrtica
E163	1,93	Areia média	0,49	Bem selecionado	0,57	Muito positiva	0,14	Muito platicúrtica
E164	1,10	Areia média	0,40	Bem selecionado	0,51	Muito positiva	0,15	Muito platicúrtica
P68	1,01	Areia média	0,44	Bem selecionado	0,00	Aproximadamente simétrica	1,03	Mesocúrtica
E165	0,80	Areia grossa	0,39	Bem selecionado	0,58	Muito positiva	0,16	Muito platicúrtica
E166	1,03	Areia média	0,34	Muito bem selecionado	0,58	Muito positiva	0,21	Muito platicúrtica
E167	1,22	Areia média	0,39	Bem selecionado	0,62	Muito positiva	0,18	Muito platicúrtica
P69	1,14	Areia média	0,41	Bem selecionado	-0,04	Aproximadamente simétrica	1,06	Mesocúrtica
E168	2,06	Areia fina	0,56	Moderadamente bem selecionado	0,57	Muito positiva	0,15	Muito platicúrtica
E169	2,17	Areia fina	0,51	Moderadamente bem selecionado	0,56	Muito positiva	0,17	Muito platicúrtica
P70	1,09	Areia média	0,42	Bem selecionado	-0,06	Aproximadamente simétrica	1,02	Mesocúrtica
E170	2,86	Areia fina	0,38	Bem selecionado	0,52	Muito positiva	0,15	Muito platicúrtica
E171	2,95	Areia fina	0,38	Bem selecionado	0,51	Muito positiva	0,14	Muito platicúrtica
E172	1,20	Areia média	0,96	Moderadamente selecionado	0,62	Muito positiva	0,12	Muito platicúrtica

Fonte: Autoria própria (2022).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os depósitos marinho praias e eólicos holocênicos situados ao longo da planície costeira de Santa Catarina apresentam um comportamento esperado no que tange a textura dos sedimentos. No geral, os sedimentos localizados no depósito marinho praias possuem um tamanho de grão maior do que os seus correspondentes eólicos. Essa condição de variação no tamanho do grão também é notada entre os setores, de Sul a Norte, onde, evidentemente, o setor Sul apresenta uma média de grãos mais finos, de areia fina, enquanto que o setor Norte e Centro-norte apresentam as médias mais baixas, de areia média.

O grau de seleção para o depósito marinho praias variou de muito bem selecionado à moderadamente selecionado, com uma média de todas as amostras de bem selecionado. Já para o depósito eólico, variou de muito bem selecionado à muito pobremente selecionado, com uma média para moderadamente bem selecionado para todas as amostras. A assimetria do depósito marinho praias variou de muito negativa à muito positiva, com grande ocorrência de assimetrias negativas, aproximadamente simétricas e positivas. Para o depósito eólico a variação foi de negativa à muito positiva, com grande ocorrência de assimetrias aproximadamente simétricas

e positivas. A curtose do depósito marinho praias, em média, foi classificada como mesocúrtica. Para o depósito eólico, em média, foi classificada como muito platicúrtica.

Recomenda-se uma maior densidade de amostragem dos depósitos eólicos e marinho praias como dados primários ao longo do litoral. Dessa maneira, a variação textural entre os depósitos marinho praias e eólicos ao longo do litoral de Santa Catarina foi analisada e quantificada em planilhas para melhor entendimento e visualização da dinâmica sedimentar entre esses dois sistemas.

REFERÊNCIAS

AMIN JÚNIOR, A. H. **Geologia da planície costeira do sistema praias Brava-Amores, Santa Catarina, Brasil**. 1999. 81f. Monografia - Curso de Oceanografia, Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 1999.

DIEHL, F. L.; HORN FILHO, N. O. Compartimentação geológico-geomorfológica da zona litorânea e planície costeira do estado de Santa Catarina. **Notas Técnicas**, 9: 39-50, 1996.

ESTEVAM, C. N. **Análise espacial do registro clástico quaternário da planície costeira do estado de Santa Catarina, Brasil**. 2019. 101f. Monografia - Curso de Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019.

ESTEVAM, C. N. *et al.* Textura dos sedimentos quaternários da planície costeira da Folha Paulo Lopes (SG-22-Z-D-V-4), SC, Brasil. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 47, Salvador. **Anais de resumos**. SBGEO, 281-281, 2014.

FELIX, A. **Ambientes de sedimentação e sistemas deposicionais do Holoceno costeiro na ilha de Santa Catarina - SC/Brasil**. 2020. 570f. Tese - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2020.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazos river bar: study in the significance of grain size parameter. **Journal of Sedimentary Petrology**, 27(1):3-26, 1957.

GERCO/SC. **Plano Estadual de Gerenciamento Costeiro de Santa Catarina**. Florianópolis: Secretaria de Estado do Planejamento - Diretoria de Desenvolvimento das Cidades/Ambiêntes Consultoria Ambiental, 2010.

HORN FILHO, N. O. **O Quaternário costeiro da ilha de São Francisco do Sul**. 1997. 282f. Tese - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

HORN FILHO, N. O. **Aspectos geológicos da zona costeira de Imbituba e Garopaba, Santa Catarina, Brasil**. Relatório de Projeto de Pesquisa. Florianópolis: UFSC. 38p, 2001.

HORN FILHO, N. O. **Diagnóstico geológico-geomorfológico da planície costeira de Jurerê, ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**. Relatório Técnico. Florianópolis: PJSC, 97p., 2015.

HORN FILHO, N. O.; FELIX, A.; CAMARGO, J. M. de. **Atlas geológico da planície costeira do estado de Santa Catarina em base ao estudo dos depósitos quaternários (AGPCSC)**. 1^{ed}. Florianópolis: Edições do Bosque, 331p. (E-ISBN 978-65-991949-5-5), 2020.

HORN FILHO, N. O. *et al.* **Variabilidade textural do sistema praia-duna no litoral de Santa Catarina, com ênfase aos depósitos marinho praiial e eólico do Holoceno**. 1^{ed}. Florianópolis: Edições do Bosque, 174p. (E-ISBN 978-65-88969-18-2), 2020.

HORN FILHO, N. O. *et al.* **Texto explicativo para o mapa geológico-geomorfológico do cabo de Santa Marta Grande, SC, Brasil**. Florianópolis: Edições do Bosque, UFSC, 1^a Ed., 124p., 2017.

HORN FILHO, N. O. *et al.* **Atlas geológico-oceanográfico das praias arenosas oceânicas de Santa Catarina, Brasil (APASC)**. Universidade Federal de Santa Catarina, Laboratório de Geologia Costeira. Florianópolis: Edições do Bosque (NUPPE/CFH/UFSC), 523p. (E-ISBN 978-65-991949-6-2), 2020.

JOCKYMAN, K. *et al.* **Análise textural dos depósitos quaternários da planície costeira e plataforma continental interna do entorno da lagoa dos Esteves, setor sul da planície costeira de Santa Catarina**. *In*: SIMPÓSIO SULBRASILEIRO DE GEOLOGIA, VIII, Porto Alegre, 2013.

LEAL, P. C. **Avaliação do nível de vulnerabilidade ambiental da planície costeira do trecho Garopaba- Imbituba, litoral Sudeste do estado de Santa Catarina, em face aos aspectos geológicos e paleogeográficos**. 2005. 257f. Tese - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

LIVI, N. S. **Geologia, geomorfologia e evolução paleogeográfica da planície costeira da ilha de Santa Catarina, litoral Central do estado de Santa Catarina, Brasil, em base ao estudo dos depósitos quaternários**. 2009. 153f. Monografia - Curso de Geografia, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

MATEUS, A. P. **Geologia e paleogeografia do sistema deposicional laguna-barreira IV na região das lagoas dos Esteves, Faxinal e Mãe Luzia, sul do estado de Santa Catarina, Brasil**. 2017. 129f. Dissertação - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

MUDAT, J. E. *et al.* **Geologia e geomorfologia costeira da folha Sombrio, SC**. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, IV. **Anais do evento**, 2006.

PUHL, P. R.; HORN FILHO, N. O. **Geologia da planície costeira das folhas Biguaçu e Camboriú, SC, em base ao estudo dos depósitos quaternários**. Relatório PIBIC/UFSC. Florianópolis: UFSC, 25p, 2010.

SILVEIRA, M. R. da. **Caracterização geológica dos depósitos quaternários do entorno da laguna do Macacu, Garopaba, SC, Brasil**. 2016. 120f. Monografia - Curso de Geologia, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.

SOUZA, D. R. de. **Distribuição dos minerais pesados ao longo do curso inferior do rio Itajaí-Açu/SC e sua correlação sedimentar com a planície costeira, praia e plataforma continental interna adjacente**. 2007. 200f. Dissertação - Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

WENTWORTH, C. K. A scale of grade and class term for clastic sediments. **Journal of Geology**, **30**: 377-392, 1922.

CAPÍTULO 4

AValiação DA EMISSÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO E NÍVEIS DE RUÍDO EM 5 PONTOS NA CIDADE DE CAMPINA GRANDE- PB

Silvia Noelly Ramos de Araújo
Andrezza Maia de Lima
Júlia Soares Pereira
Giliane Aparecida Vicente da Silva Souza
Viviane Farias Silva
Kalyne Sonale Arruda de Brito

RESUMO

O objetivo da pesquisa foi quantificar os níveis de ruído e dióxido de carbono (CO₂) ao qual as pessoas estão expostas de modo pontual ou mais contínuo. A coleta de dados foi realizada em 5 pontos da cidade de Campina Grande, a saber: o terminal de integração de passageiros e o rodoviário, a Universidade Federal de Campina Grande, o parque da criança e a Rua Maciel Pinheiro localizada no centro da cidade. A escolha foi com base as diferentes condições tanto no fluxo de pessoas bem como de veículos, sendo, portanto, ambiente com diferentes condições de exposição a esses poluentes. A coleta de dados ocorreu das 10 às 11h30min, sendo realizado um dia em cada local. A metodologia adotada para avaliar os níveis de ruído foi baseada na NBR 10.151/2000, e os resultados foram comparados a legislação do meio ambiente com o Decreto Estadual 15.357/1993, que fixam as condições de aceitabilidade para o estado da Paraíba. Quanto a concentração de CO₂, os resultados obtidos foram comparados aos valores fixados na NR-15, anexo 11. Os resultados mostraram que o Terminal de Integração de Passageiros possui valores mais críticos quanto questão sonora, obtendo nível médio de 75,17 dB, justificado pelo maior fluxo de veículos dentre os pontos analisados. A Universidade Federal de Campina Grande apresentou situação mais confortável quanto à pressão acústica, estando, assim, em consonância com a legislação vigente. As concentrações de CO₂ não apresentaram valores prejudiciais à saúde humana, bem como, ao meio ambiente em todos os locais analisados. Quanto a poluição sonora orienta-se para o planejamento urbano utilizando espécies arbustivas que funcionará como barreiras naturais, aliado a fiscalização pelos órgãos competentes para coibir práticas sonoras abusivas por parte de alguns comerciantes locais.

PALAVRAS-CHAVE: Poluição sonora. Emissão de CO₂. Centros urbanos.

1. INTRODUÇÃO

As principais variáveis com tendências ao agravamento para as próximas décadas são: trânsito (78%), qualidade do ar (70%) e ruído (66%), segundo o II Inquérito Nacional realizado no ano de 2000. Em 1999 a Organização Mundial da Saúde (OMS) classificou o ruído emitido por meios de transporte como o segundo elemento mais prejudicial, ficando atrás da poluição atmosférica. Neste âmbito, o ruído e a qualidade do ar tornam-se variáveis ambientais que requerem atenção, dada a sua importância nos mais diversos aspectos, nomeadamente associados à saúde e o bem estar humano.

O Brasil é o 5º maior emissor de Gases do Efeito Estufa (GEE) do mundo, produzindo cerca de 3,2% do total mundial, em 2020 houve alta de 9,5% nas emissões internas do país, conforme explanado por Potenza *et al.* (2021) no relatório do Observatório do Clima. Como

parcela responsável pela emissão de GEE e de outros poluentes atmosféricos, é apontado que as frotas de veículos terrestres nos centros urbanos, causam tanto impactos ambientais como a saúde pública. Só no município de Campina Grande, de acordo com IBGE (2021), a frota ultrapassou os 202 mil veículos terrestres, destes, mais de 30 mil foram fabricados há mais de 15 anos.

Embora o dióxido de carbono (CO₂) não seja considerado um poluente potencial devido à sua baixa toxicidade, deve ser levado em consideração, pois compõe os gases que contribuem para o efeito estufa com uma participação de 64 % a principal causa para a subida abrupta do termômetro em um século e meio diante dessas atividades. Além disto, o CO₂ depois de emitido mantém-se na atmosfera estimadamente durante 120 anos, como presumido pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) e citado por Fearnside (2015). O fato é que, ao longo dos anos as concentrações destes poluentes foram crescendo não apenas nos países desenvolvidos, mas também nos países em desenvolvimento. Segundo a norma regulamentadora NR – 15, Anexo 11 os limites de tolerância para pessoas que são expostas a esses ambientes até 48h/semana é a taxa de 3900 ppm e 7020 mg/m³.

O comprometimento da qualidade de vida não é apenas ocasionado pela poluição dos gases, mas também pela poluição sonora, entre as diversas fontes de ruído ambiental Amorim *et al.*, (2017) aponta que o tráfego veicular é um dos maiores contribuintes, produzido pelos veículos motorizados ruídos que podem ser pontuais como as buzinas e motores funcionando parados ou lineares quando em deslocamento.

Conforme citado por Lozano (2018) a percepção humana do som não segue uma escala linear, haja visto que a variação de pressão sonora é medida em escala logarítmica, onde a vibração variando de 2-3 dB é um som pouco perceptível ao humano, a partir de 5 dB torna-se claramente perceptível; 10 dB dobro ou metade (2x); 20 dB mudança dramática (4x) e 40 dB diferença entre um sussurro e um som extremamente alto (16x).

A escala de valores de nível de pressão sonora varia entre 0 dB(A) (limiar da audição) e 130 dB(A) (limiar da dor). A exposição ao excesso de ruído pode provocar diferentes sintomas ao indivíduo exposto, que podem ser de ordem auditiva e/ou extra-auditiva, dependendo das características do risco. São reconhecidos como efeitos auditivos: o zumbido (sintoma mais frequente), a perda auditiva e as dificuldades na compreensão da fala. São considerados sintomas extra-auditivos: as alterações do sono e os transtornos da comunicação, os problemas

neuroológicos, vestibulares, digestivos, comportamentais, cardiovasculares e hormonais (Costa *et al.*, 2009).

Segundo a norma regulamentadora NR – 15, Anexo 1 estabelece o nível de 85 dB(A) como o limite máximo tolerado para ruído contínuo ou intermitente, no período de 8 horas. O Decreto Estadual 15.357/93 - estado da Paraíba permite os níveis de ruído no período diurno de 65 dB(A). Não é permitida a exposição a níveis de ruído acima de 115 dB(A) para indivíduos que não estejam adequadamente protegidos (BRASIL, 2018). Acima de 75 dB(A), para qualquer situação ou atividade, o ruído passa a ser um agente de desconforto. Nessas condições, há uma perda da inteligibilidade da linguagem, passando a ocorrer distrações e irritabilidade. Acima de 80 dB(A), as pessoas mais sensíveis podem sofrer perda de audição.

Partindo do exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar os níveis de ruído e concentração de dióxido de carbono em cinco pontos da cidade de Campina Grande – Paraíba, em horários de maior pico para que assim seja monitorado o conforto humano nesses ambientes.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A sede do município de Campina Grande está situada na Mesorregião Geográfica do Agreste Paraibano, na Zona Centro Oriental da Paraíba no planalto da Borborema, com 7° 13' 50" de latitude Sul e 35° 52' 52" de longitude Oeste de Greenwich (Figura 1), distante 124 km da Capital do Estado, os principais acessos a sede do Município são as Rodovias Federais BR 230 (Transamazônica) e a BR 104, que cruzam a cidade no sentido Leste-Oeste e Norte-Sul, respectivamente; e a BR 412, que faz conexão com o Cariri e interior de Pernambuco. Campina Grande é o segundo município em população e exerce grande influência política e econômica sobre outros 57 municípios do Estado da Paraíba. Este conjunto de municípios é denominado de Compartimento da Borborema e é constituído de 5 microrregiões conhecidas como Agreste da Borborema, Brejo Paraibano, Cariris Velhos, Seridó Paraibano e Curimataú. O município de Campina Grande e sua zona urbana apresentam, respectivamente, áreas de 621 km² e 98 km², aproximadamente.

Figura 1: Localização geográfica do município de Campina Grande, PB.



Fonte: Google Maps (2022).

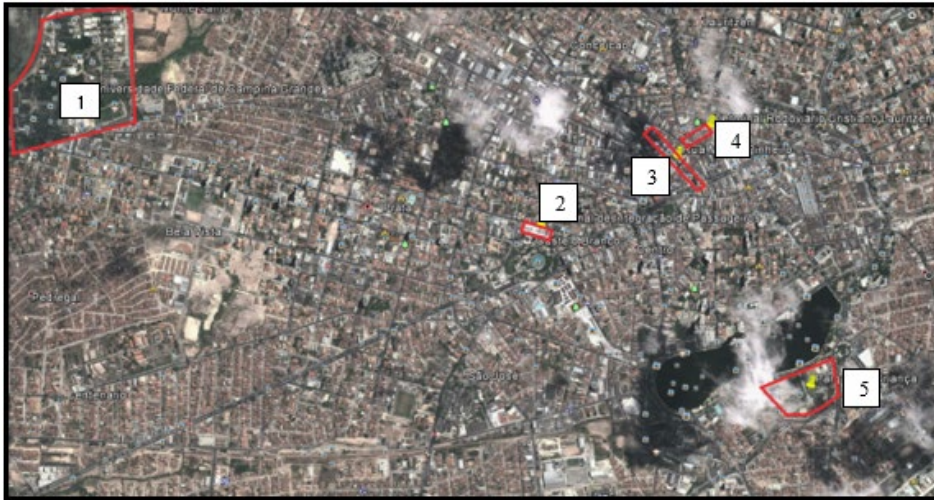
Possui temperatura e pluviosidade média anual de 22,9° C e 785 mm, respectivamente. O município foi criado em 1788, e de acordo com a estimativa do IBGE (2021), a população do município é de 413.830 habitantes, sendo mais de 95% na área urbana. Seu Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) é de 0,721.

Ainda segundo o IBGE (2021), o levantamento feito sobre a frota de veículo, mostrou que no município de Campina Grande circulam mais de 202 mil veículos, desses, há uma frota com mais de 30 mil veículos que foram fabricados há mais de 30 anos. O volume de gases nocivos à saúde gerado pelo motor de um carro com mais de 15 anos de uso pode ser até 28 vezes maior que o de um novo, segundo pesquisa da ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores.

Foram realizadas as medições de ruído e de dióxido de carbono *in situ*, a fim de caracterizar fisicamente os níveis de cada um desses pontos no período diurno de transição de menor para maior pico e assim observar as possíveis variações nos resultados ocasionados pela movimentação de pessoas e veículos. A metodologia para análise da poluição sonora segue os procedimentos constantes na NBR 10.151 (2000), comparando os resultados ao decreto estadual 15.357 (1993). Quanto a concentração de CO₂, os resultados obtidos foram comparados aos valores fixados na NR-15, anexo 11. Os pontos estudados compreendem o parque da criança, terminal rodoviário Cristiano Lauritzen (rodoviária velha), rua Maciel Pinheiro, terminal de integração de passageiros e a Universidade Federal de Campina Grande (Figura 2). Foram avaliados esses cinco pontos no período de 10:00 às 11:30 horas, de 21 à 25 de setembro de 2014, ou seja, um dia em cada local de estudo. Com a leitura das medições foram retiradas as médias dos valores de máximo e mínimo a cada cinco minutos por meio de um relógio com cronômetro, o que resultou em 18 leituras de cada parâmetro, ou seja, 36 dados

obtidos em cada ponto avaliado. Considerou-se suficiente 36 medição feita em cada ponto para se verificar a situação de conforto humano nesses ambientes.

Figura 2: Localização dos 5 pontos estudados no município de Campina Grande.



Fonte: Google Earth (2022). Legenda: Ponto 1: UFCEG; Ponto 2: terminal de integração; Ponto 3: R. Maciel Pinheiro; Ponto 4: rodoviária velha; Ponto 5: parque da criança.

A coleta de dados teve início no domingo, dia 21 de setembro de 2014 no parque da criança (Figura 3A) considerando que este é o dia da semana com maior volume de pessoas neste ambiente. Nos dias úteis subsequentes (segunda-feira a quinta-feira) foram realizadas as demais medições (Figura 3B e 3C).

Figura 3: Avaliação no parque da criança (A); Avaliação na rodoviária Cristiano Lauritzen (rodoviária velha) (B); Avaliação na rua Maciel Pinheiro (C).



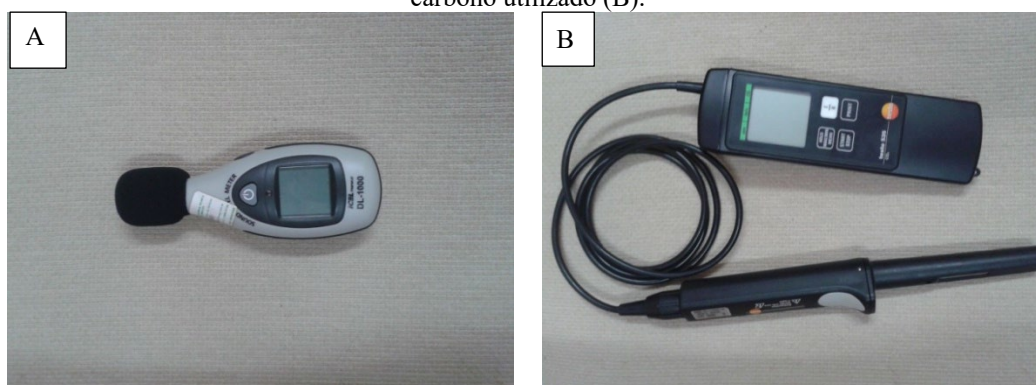
Fonte: Autoria própria (2014).

Foi utilizado um medidor de pressão sonora (decibelímetro) para medições de ruído, modelo DL-1000 (Figura 4A). Dotado de protetor de vento e com valores expressos em dB(A). O nível sonoro usado para a comparação com o nível sonoro médio obtido nas 18 medições foi o fixado pela norma regulamentadora disposto na NR-15, anexo 1, da portaria 3214 de 1978 de

emissões sonoras, nível sonoro equivalente $Leq = 85 \text{ dB(A)}$ para uma exposição máxima de até 8 horas por dia.

Para leituras das concentrações de CO_2 foi utilizado o sensor infravermelho modelo Testo 535 (Figura 4B) que indica no display a concentração de CO_2 em partes por milhão (ppm). A base de comparação dos resultados foi feita com os valores fixados na NR-15, anexo 11 para limite de tolerância a indivíduos expostos até 48 horas por semana são da taxa de 3900 ppm e 7020 mg/m^3 .

Figura 4: Medidor de nível de pressão sonora utilizado (decibelímetro) (A); Sensor de emissão de dióxido de carbono utilizado (B).



Fonte: Autoria própria (2014).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

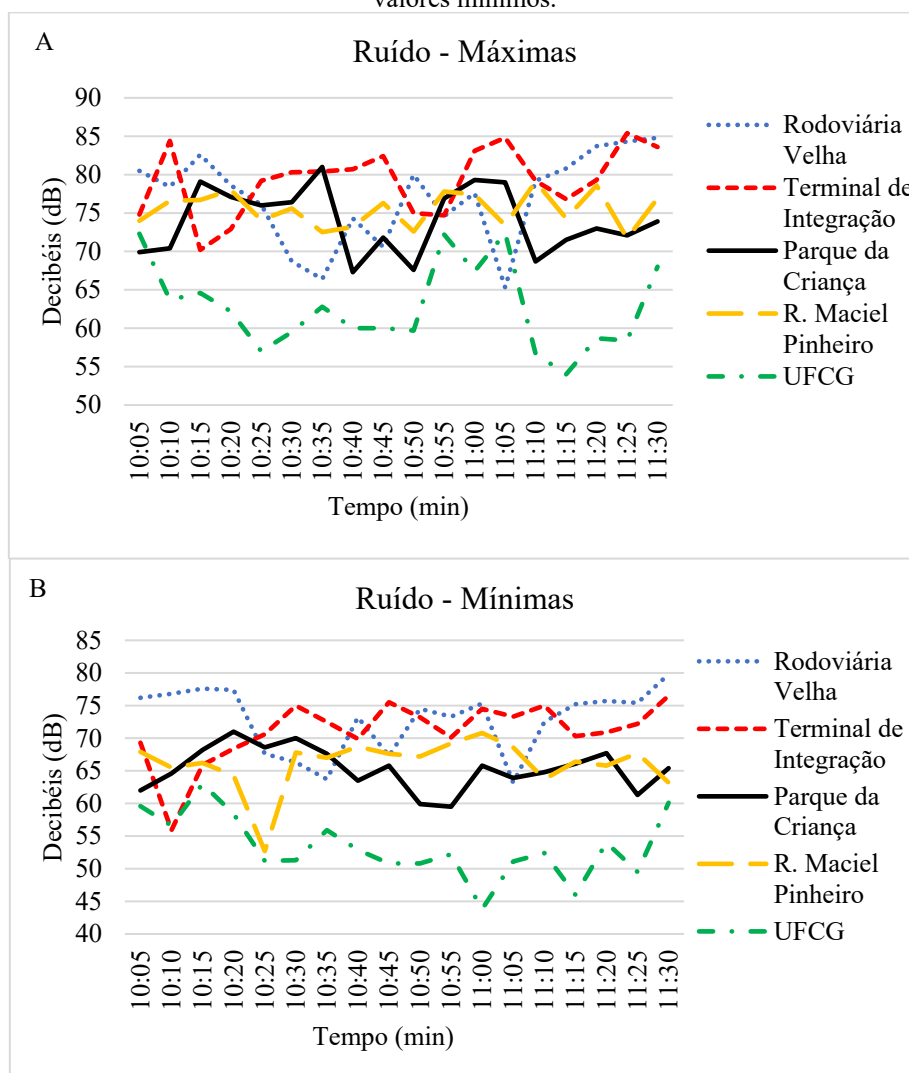
Os níveis de ruído nos pontos estudados apresentaram valores superiores ao limite de produção sonora de 65 dB(A) de acordo com Decreto Estadual 15.357/93 e o código ambiental municipal vigente para o período diurno (Figura 5), sendo os valores mais críticos na rodoviária velha e terminal de integração de passageiros, que superaram o limite de 85 dB(A) recomendados pela NR-15, ressaltando-se que a intensidade atingiu na rodoviária velha pico de 89 dB(A) e no terminal de integração pico de 91 dB(A) .

Na rodoviária velha os fatores que contribuíram para que esses índices atinjam valores elevados foram, principalmente, o barulho dos motores dos veículos e os ruídos provocados pela frenagem dos ônibus, como também a intensa atuação dos comerciantes e ambulantes locais, que contribuem para elevar a poluição sonora.

No terminal de integração a proximidade das plataformas de embarques, o barulho das frenagens dos veículos, a concentração dos ônibus e a passagem de veículos na avenida próxima ao terminal, elevaram o nível de pressão sonora, provocando risco à saúde dos usuários, como também dos profissionais que trabalham no local. No Parque da Criança e na

UFCG os níveis foram mais baixos, em razão de sua infraestrutura, arborização e ausência de fluxo de veículos. No parque da criança em específico, os níveis foram maiores devido neste dia está havendo eventos com apresentação de músicas, capoeira e corrida corroborando assim no aumento dos níveis de ruído.

Figura 5: Medição do nível de ruído em pontos da cidade de Campina Grande, PB: (A) valores máximos; (B) valores mínimos.



Fonte: Dados da pesquisa (2014).

Conforme citado por Barbosa *et al.* (2020) a poluição sonora no meio urbano tem sido uma constante em muitas cidades brasileiras sendo apontada pela OMS como um dos problemas mais comuns das cidades afetando a qualidade de vida e degradando o meio ambiente. Os autores ao avaliarem alguns pontos centrais da cidade de Uberaba/MG afim de quantificar os níveis de intensidade sonora, e comprovaram que os pontos são considerados acusticamente insalubres, excedendo em todos os pontos os níveis permitidos pelas normas e legislações, sugerindo que a atenuação pode ocorrer a partir da substituição da frota de veículos coletivos velhos por novos e silenciosos, utilização de barreiras acústicas naturais, como os arbustos,

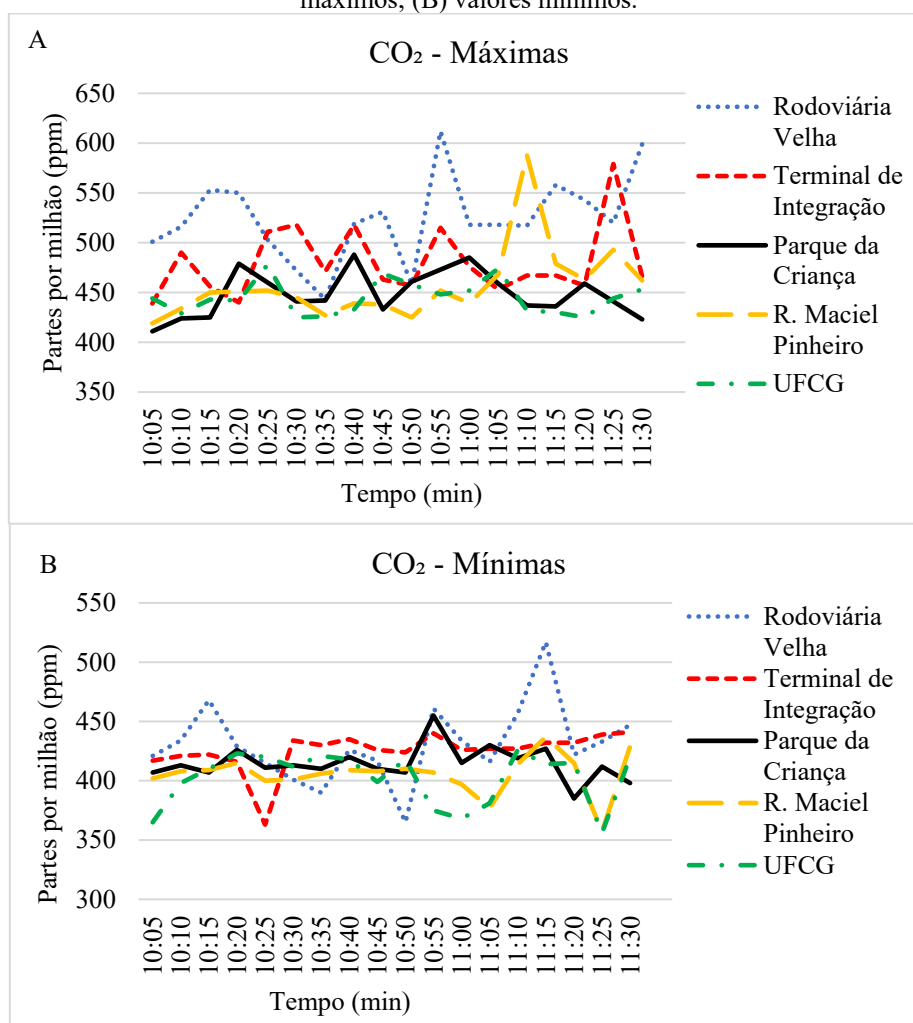
além de substituição de vias que fazem uso de material duro, como o asfalto, por materiais mais porosos que são capazes de absorver impactos e atenuar os níveis sonoros.

Com relação as barreiras naturais utilizando vegetação para diminuir a propagação do ruído nos grandes centros, Gerges (2000) afirmou que para atenuação de 2 dB em 1kHz é necessária uma área de árvores densas a 10 m de distância da fonte e com uma largura de 20 m, podendo aumentar para 4 dB quando a grama for densa e houver folhagens no solo. Carvalho (2009) complementa que a eficácia na atenuação depende também da espécie arbustiva e do tipo de folhagem, apontando algumas espécies com melhor absorção: *Acer pseudoplatanus* (padreiro), *Pseudotsuga menziesii* (pinheiro), *Ilex aquifolium* (azevinho), *Quercus robur* (carvalho), *Fagus sylvatica* (faia-europeia) e *Prunus laurocerasus* (louro-cerejeiro).

González *et al.* (2019) ao avaliar a exposição dos moradores urbanos ao ruído provocado pelo tráfego de veículos nas principais vias de Matamoros no México, verificaram que Leq variou entre 69.2 a 87.3 dB, excedendo na maioria delas o limite permitido em sua cidade de 55 dB durante o dia, e 45 dB durante a noite. Os autores apontam ainda que das 405 pessoas entrevistadas, 55% afirmaram terem dificuldade para dormir devido na maioria dos casos serem devido aos ruídos provocados pelo ruído ambiental e destas 26,8% afirmaram apresentar disfunção diurna como sonolência e mau humor.

Com relação a avaliação das taxas de dióxido de carbono, os locais com os maiores valores foram obtidos na rodoviária velha, terminal de integração de passageiros e rua Maciel Pinheiro (Figura 6), em razão dessas localidades apresentarem trânsito intenso. A rodoviária velha apresentou as médias das máximas maiores que o terminal de integração, embora esse último tenha apresentado o movimento maior de ônibus no horário estudado, isso se deve a dois fatores: a frota de ônibus que fazem o transporte de passageiros na rodoviária velha apresentam em sua maioria mais de 15 anos de uso, o volume de gases nocivos gera em torno de 28 vezes mais que um veículo novo. Outro fator se deve à falta de arborização no entorno; já no terminal de integração de passageiros, ao lado existe o parque Evaldo Cruz conhecido como açude novo, que conta com uma área de 46.875 m², sendo esta uma área bastante arborizada.

Figura 6: Medição dos níveis de dióxido de carbono em pontos da cidade de Campina Grande, PB: (A) valores máximos; (B) valores mínimos.



Fonte: Dados da pesquisa (2014).

De acordo com Melo (2022) o plantio de árvores em áreas urbanas é uma medida eficaz para se criar um efeito de conforto e atenuar o aquecimento urbano tanto em níveis macro quanto microclimáticos. As florestas urbanas promovem diversos serviços ecossistêmicos, dentre eles, a remoção de gases efeito estufa da atmosfera, principalmente, com o sequestro do dióxido de carbono.

No parque da criança níveis de dióxido de carbono superaram a expectativa já que se trata de uma área verde e apresenta apenas passagem de pessoas em seu interior. Acredita-se que os fatores que contribuem para esses níveis que estão inclusive acima do limite de tolerância do Decreto Estadual 15.357/93 se deve ao fato de sua localização está próximo ao centro da cidade e em todo seu entorno ter o trânsito de veículos.

Neves *et al.* (2019) ao avaliarem a qualidade do ar em espaço público, como praça, na cidade de Fortaleza/CE, concluíram que os níveis de dióxido de carbono apresentaram correlação forte com a temperatura do ar, ou seja, no horário da tarde devido as maiores

temperatura, ambiente com pouca arborização, muito concreto e alto fluxo de veículos, as taxas médias que atingiram 972,9 ppm, apresentando-se assim como um ambiente de baixo conforto as pessoas que ali trafegam.

Stoco (2022) avaliou as taxas de CO₂ em dois ambientes distintos na região da grande São Paulo, sendo um mais próximo a região urbana e outro mais afastado contendo maior presença de vegetação, a avaliação perdurou a coleta de dados entre os anos de 2013 a 2019, afim de verificar a tendência ao aumento de sua concentração. O autor aponta que as taxas médias de concentração ao longo dos anos aumentaram apenas no sítio localizado próximo a região urbana, com valores que não chegam a 600 ppm. Já no sítio mais afastado as taxas médias ficam abaixo dos 450 ppm, concluindo que é notório a atuação dos sumidouros no sequestro de gás carbono pela vegetação.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos e comparando a legislação vigente, conclui-se que em todos os locais analisados, apresentam nível sonoro em desconformidades que podem ser caracterizados como locais insalubres. Para aquelas pessoas que passam um período maior expostas a um desses pontos mais críticos estão sujeitas a desenvolver problemas de saúde em função da poluição sonora. Orienta-se, portanto, que nos centros urbanos exista um maior número de arbustos que servem como barreiras naturais de modo a diminuir significativamente a poluição sonora, aliando a fiscalização pelos órgãos competentes a coibir práticas sonoras abusivas por parte de alguns comerciantes locais.

As concentrações de dióxido de carbono não apresentam valores prejudiciais à saúde e ao bem estar humano, ou seja, estão dentro dos limites aceitáveis de qualidade de ar para o período estudado.

A identificação e o reconhecimento do ponto de vista técnico destes parâmetros em relação aos seus riscos são importantes para auxiliar na implementação de medidas de controle que visam assegurar a saúde e o bem estar das pessoas que de alguma forma estão expostas a esses ambientes.

REFERÊNCIAS

AMORIM, A. E. B. *et al.* **Previsão do ruído ambiental urbano devido à implantação do Modal Veículo Leve sobre Trilhos (VLT) por meio de simulação computacional**, Revista interações, Campo Grande, v. 18, n. 4, p. 81-97, 2017. <Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/inter/a/6FwxYzbnH8VDXsN9N5CYcCH/abstract/?lang=pt>.
Acessado em: Ago, 2022.

BARBOSA, M. C. R. *et al.* **Avaliação de Ruído Ambiental da Região Central da Cidade de Uberaba – Mg.** Saúde e Meio Ambiente: Revista Interdisciplinar, Uberaba, v. 9, p. 80-95, 2010. Disponível em: < <http://www.periodicos.unc.br/index.php/sma/article/view/2456>>. Acessado em: Ago, 2022.

BRASIL. Resolução nº 491, de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 21 Nov. 2018. Disponível em: < https://www.in.gov.br/web/guest/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/51058895/doi-10.21-21-resolucao-n-491-de-19-de-novembro-de-2018-51058603>. Acessado em: Set, 2022.

BRASIL. **Norma Regulamentadora NR-15 – Atividades e Operações Insalubres.** Ministério do Trabalho e Emprego. 2018

CARVALHO, J. P. F. **A árvore no Espaço Urbano.** In: IV Jornadas do Ambiente. 2009, Trás-os-Montes. Anais. UTAD, 2009. p. 1-10. Disponível em: <<https://silo.tips/download/a-arvore-no-espao-urbano>>. Acessado em: Set, 2022.

COSTA, C. B.; GAMA, W. U.; MOMENSOHN, T. M. S. **Eficácia do protetor auditivo de inserção em programa de prevenção de perdas auditivas.** International Archives of Otorhinolaryngology, Jundiaí, v. 13, n. 3, p. 281-286, 2009. Disponível em: <http://www.arquivosdeorl.org.br/conteudo/acervo_port.asp?id=629>. Acessado em: Set, 2022.

DECRETO ESTADUAL. Decreto Estadual nº 15.357, de 15 de junho de 1993. Estabelece padrões de emissões de ruídos e vibrações bem como outros condicionantes ambientais e dá outras providências-Paraíba. **Diário Oficial Eletrônico**, Santa Rita, PB, 15 Jun. 1993. Disponível em: <<http://www.semarh.pb.gov.br/legislacao%20ambiental/dec15357.php>>. Acessado em: Set, 2022.

FEARNSIDE, P. M. **Hidrelétricas na Amazônia: impactos ambientais e sociais na tomada de decisões sobre grandes obras.** Manaus. Editora do INPA, 2015.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: fundamentos e controle.** 2 ed. Florianópolis: NR Editora, 2000.

GOOGLE EARTH-MAPAS. **Município de Campina Grande.** Google-Earth-mapas. Campina Grande, 2022.

GONZÁLEG, B. Z. *et al.* **Exposición al ruido por tráfico vehicular y su impacto sobre la calidad del sueño y el rendimiento en habitantes de zonas urbanas.** Revista de Estudios demográficos urbanos, Matamoros, v. 34, n. 3, p. 601-629, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.24201/edu.v34i3.1743>>. Acessado em: Set, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Frota de veículo em Campina Grande.** Campina Grande, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **População do município de Campina Grande em 2021.** Campina Grande, 2021.

LOZANO, M. R. L. **Influência de diferentes coberturas do solo na propagação do ruído ambiental: uma proposta para redução dos níveis de poluição Sonora**. 2018. 110p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Botucatu, SP, 2018. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/183120>>. Acessado em: Set, 2022.

MELO, A. K. L. **Estimativa do Sequestro de Carbono no Parque da Jaqueira, Recife/PE**. 2022. 36p. Trabalho de conclusão de curso (TCC) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE, 2022. Disponível em: <<https://repository.ufrpe.br/handle/123456789/3178>>. Acessado em: Set, 2022.

NEVES, C. J. T. *et al.* **Avaliação de indicadores ambientais urbanos em um espaço público da cidade de Fortaleza-CE**. Revista Tecnologia, Fortaleza, v. 40, n. 2, p. 1-17, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.5020/23180730.2019.9485>>. Acessado em: Set, 2022.

NORMA BRASILEIRA (NBR). NBR 10.151. **Acústica - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento**. 2000.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **New Who Guidelines for Community Noise. Noise e Vibration Worldwide**. 1999.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Constituição da Organização Mundial da Saúde (OMS/WHO) - 1946**. 2017.

POTENZA, R. F. *et al.* **Observatório do clima - Análise das Emissões Brasileiras de Gases do Efeito Estufa e Suas Implicações Para as Metas climáticas do Brasil (1970 a 2020)**. 9ª edição. SEEG, 2021. Disponível em: <<http://seeg.eco.br/documentos-analiticos>>. Acessado em: Set, 2022.

STOCO, M. A. **Dióxido de carbono na cidade de São Paulo: medidas em superfície e análises sazonais**. 2022. 123p. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/D.14.2022.tde-27062022-151255>>. Acessado em: Set, 2022.

CAPÍTULO 5

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS OBTIDO DE DEJETOS SUÍNOS⁴

Cintia Cristina da Costa Freire
Jefferson Cleriston Barros dos Santos
Sandra Imaculada Maintinguer

RESUMO

O objetivo do presente estudo foi realizar uma análise técnico-econômica da implantação de um sistema de aproveitamento dos resíduos de suínos para a produção de biogás e geração de energia elétrica em uma granja localizada no interior de Balsas - MA. Para isto, foi realizada uma estimativa da geração de biogás, o dimensionamento do sistema e estimativa de geração de energia elétrica e posteriormente foram realizados os cálculos financeiros de valor presente líquido, taxa interna de retorno e *payback*, levando em consideração o investimento inicial, depreciação, custos de instalação e manutenção de todo o sistema. Como resultado, os indicadores estudados apresentam valores economicamente viáveis: valor presente líquido de R\$ 327.359,36, taxa interna de retorno de 1,96% e *payback* de 57 meses. Foi observado que para os tempos de operação de 13, 15 e 17 horas o investimento se mantém viável, e que para um consumo médio de energia de até 30 MWh, o funcionamento do sistema gerará créditos de energia positivos que poderão ser usados para a redução das faturas seguintes ou aplicados em outras unidades consumidoras de mesma titularidade. Desta forma, aliar o gerenciamento de resíduos potencialmente poluidores à geração de energia limpa é uma estratégia promissora e que pode contribuir para a diminuição da dependência de energia proveniente das concessionárias de energia elétrica, reduzindo custos e contribuindo para o desenvolvimento sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Análise técnico-econômica. Biogás. Energia elétrica. Suinocultura.

1. INTRODUÇÃO

A geração distribuída proveniente de fontes renováveis tem sido uma alternativa para aumentar a inserção de renováveis na rede elétrica de países em desenvolvimento. Uma das principais fontes de produção de biogás atualmente no Brasil vem das granjas de suínos, com potencial energético correspondente de 3.759,32 GWh/ano, aproximadamente 28% de toda a geração de eletricidade a partir de matérias primas renováveis (BERNARDES *et al.*, 2022). A produção de biogás usando esterco suíno tem a vantagem de não resultar em efeitos indesejados especialmente para a agricultura, como mudanças no uso da terra e ameaças à segurança alimentar. Além disso, esta pode ser uma opção para obtenção de energia elétrica a partir do biogás, de maneira a ocorrer a reciclagem desses resíduos e consequente geração de um biofertilizante rico em nutrientes. No entanto, para a implementação de sistemas sustentáveis de geração de energia, a partir do reaproveitamento de dejetos da suinocultura, faz-se necessário uma análise técnico-econômica para permitir a construção de instalações eficientes, econômicas

⁴ Fomento: Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, Projeto 2020/15155-3.

e que possibilitem a recuperação dos investimentos de forma mais rápida e com menos riscos. Desta forma, o objetivo do presente estudo foi realizar uma análise técnico-econômica da implantação de um sistema de aproveitamento dos resíduos suínos para a produção de biogás e geração de energia elétrica.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A suinocultura representa uma importante atividade econômica no Brasil, impulsionando as agroindústrias de carnes, gerando milhares de empregos diretos e indiretos, movimentando a economia nacional (NETO *et al.*, 2020). O estado do Maranhão, embora não concentre uma das maiores produções de suínos no Brasil, é o terceiro maior produtor na região Nordeste com tendência de crescimento para o setor (SANTOS, 2020).

Em contrapartida o avanço na produção de suínos resulta em um aumento na geração de dejetos, ocasionando problemas de ordem sanitária e provocam a geração de gases poluentes, como o metano (CH₄). O CH₄ é um dos principais gases causadores do efeito estufa e na atualidade sua concentração na atmosfera aumenta de forma contínua em decorrência do crescimento dos aterros sanitários, uso de combustíveis fósseis e práticas agrícolas (ZOTTI; PAULINO, 2009). Segundo Côrtes, Rocha e Sabião (2019), estima-se que aproximadamente 14% da emissão mundial de metano é decorrente de atividades agrícolas ligadas à produção animal, sendo que cerca de 5 a 10% da emissão do gás corresponde exclusivamente aos dejetos gerados. No Brasil, os dados referentes ao inventário de emissões apontaram que 76,12% da emissão nacional do poluente é proveniente do agro, e desse percentual, 15,8% é emitido a partir dos dejetos (ONU, 2021).

A redução das emissões de metano foi recentemente pauta na Conferência das Partes (COP-26), a qual o Brasil participou em conjunto com os principais líderes mundiais visando abordar os problemas e estratégias para amenizar e adaptar as consequências das mudanças climáticas. Na conferência, cerca de 100 países firmaram acordo objetivando reduzir as emissões de metano em 30% até 2030 (ZAMORA SAENZ, 2021).

Uma alternativa para redução da emissão direta do metano na atmosfera é o aproveitamento desses resíduos produzidos no meio rural para geração de energia. O uso de biodigestores pode ser um meio facilitador para atingir sustentabilidade e economia na produção levando em consideração a grande disponibilidade de biomassa gerada nos galpões de criação (CERVI *et al.*, 2010). A produção de biogás a partir da digestão anaeróbia dos dejetos da suinocultura apresenta grande potencial de geração de energia quando implementado um

sistema biointegrado de geração, contribuindo para a diminuição no potencial poluidor dos resíduos, a diversificação da matriz energética usando uma fonte de baixo impacto ambiental e trazendo benefícios para o produtor rural (EMBRAPA, 2018).

Como incentivo a geração elétrica autônoma de forma sustentável, em abril de 2012 entrou em vigor a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 que dispõe sobre o Sistema de Geração Distribuída, na qual estimula o consumidor brasileiro a gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis, permitindo que o produtor forneça o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. A geração distribuída é caracterizada por sistemas de geração de pequena escala localizados próximos a centros de demanda que estão conectados a sistemas de rede, onde o consumidor se torna um produtor que produz parte ou toda a sua eletricidade. As principais vantagens da geração distribuída são maior segurança energética do consumidor, menores perdas no sistema elétrico e menores impactos ambientais (BERNARDES *et al.*, 2022). Posteriormente, a ANEEL publicou a Resolução Normativa nº 687/2015, que dispõe sobre o sistema denominado como “autoconsumo remoto”, possibilitando que quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor recebe créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes ou para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que ambas estejam na área de atendimento da distribuidora (ANEEL, 2021).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Informações gerais

O presente estudo foi realizado tendo como base uma Granja de produção de suínos localizada no interior do Maranhão. No complexo de granjas de suínos, mensalmente são comercializados 5.900 suínos para distribuidores dos estados Maranhão, Piauí e Pará. Atualmente, os dejetos gerados na granja são usados apenas para a geração de biofertilizante para a lavoura e para produção de ração.

3.2. Estimativa da produção de biogás e dimensionamento do biodigestor

Para o dimensionamento do biodigestor (tipo Lagoa Coberta) e estimativa do potencial produção de biogás e dimensionamento do biodigestor a partir do aproveitamento dos dejetos da granja suína, foram utilizadas as metodologias descritas na Tabela 1. A Tabela 2 apresenta os parâmetros qualitativos utilizados para os cálculos.

Tabela 1: Equações para a estimativa da produção de biogás e dimensionamento do biodigestor.

Indicador	Equação	Variáveis	Numeração
Volume de efluentes gerados ao dia	$Q = N^{\circ} \times VD$	Q (m ³ dia ⁻¹) = volume total de efluentes produzidos ao dia N ^o = número inteiro número de animais VD (m ³ _{animal} dia ⁻¹) = volume de efluentes produzidos por animal ao dia	(1)
Estimativa da produção diária de metano	$PDM = B_0 \times SV \times Q$	PDM (m ³ _{CH₄} dia ⁻¹) = produção diária de metano B ₀ (m ³ _{CH₄} kg _{SV} ⁻¹) = capacidade máxima teórica de produção de metano pelo dejetos SV (g _{SV} L ⁻¹) = concentração de sólidos voláteis Q (m ³ dia ⁻¹) = volume total de efluentes produzidos ao dia	(2)
Tempo de retenção hidráulica	$TRH = V \times Q$	TRH (d) = Tempo de retenção hidráulica V (m ³) = Volume do biodigestor Q (m ³ d ⁻¹) = Vazão de alimentação	(3)
Volume do digestor	$TB = V \times TRH$	TB (m ³) = Tamanho do biodigestor Q (m ³ dia ⁻¹) = volume total de dejetos produzidos ao dia TRH (dias) = tempo de retenção necessário para a degradação da matéria orgânica	(4)

Fonte: Autoria própria a partir de dados extraídos de Kunz e Oliveira (2006).

Tabela 2: Parâmetros qualitativos para granja de terminação de suínos.

Tipo de rebanho	SV (gSV L ⁻¹)	B0 (m ³ CH ₄ kgSV ⁻¹)	PD (L _{animal} dia ⁻¹)
Suíno	35,53	0,45	8,6

Fonte: Embrapa (2018).

3.3. Estimativa da geração de energia elétrica

Para avaliar a economia na utilização de energia elétrica através da geração distribuída, os benefícios gerados com a produção de energia foram interpretados como a renda que se deixa de transferir para a concessionária. Foram levados em consideração o valor da tarifa

convencional da classe rural de 0,51514 R\$/kWh, e custo de disponibilidade de R\$ 51,51, estabelecidos pela Equatorial Maranhão (2021), concessionária local. O dimensionamento da potência do conjunto motor-gerador foi feito com base na produção diária de biogás determinada.

3.4. Análise técnico-econômica

Foi determinado o tempo de retorno do investimento (*payback*), o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), levando em consideração o investimento inicial, depreciação e custos de instalação e manutenção de todo o sistema, considerando a vida útil do sistema de 10 anos ($n=10$), à uma taxa de desconto de 9,25% a.a, taxa básica de juros Selic que é o principal instrumento do Banco Central.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nos dados de produção mensal de suínos e quantidade total de dejetos produzidos diariamente, a produção diária de biogás estimada foi de $817 \text{ m}^3/\text{dia}^{-1}$. Para atender a capacidade de produção, o tamanho adequado para o biodigestor de lagoa coberta é de 2.000 m^3 .

A partir desses dados, é possível dimensionar o motor-gerador para produção de energia elétrica. Sabendo que a produção de biogás é de $34,07 \text{ m}^3/\text{h}^{-1}$, um motor-gerador de 80 kVA seria uma opção adequada por apresentar consumo de $34 \text{ m}^3/\text{h}^{-1}$, entretanto a adoção do motor-gerador de 120 kVA, com consumo de $47 \text{ m}^3/\text{h}^{-1}$, é mais recomendada, pois além de possuir maior disponibilidade comercial, este atende bem a demanda caso o volume alimentação do biodigestor sofra variação.

Com base no consumo do motor-gerador de 120 kVA, pode-se estimar o tempo de operação do motor-gerador em 17 horas por dia. Levando em consideração que um motor-gerador de 120 kVA produz 77 kW por hora, a uma taxa de perda de 80%, o valor de energia elétrica a ser produzido mensalmente é de 31.416 kWh, o que equivale a um benefício de R\$ 16.183,63.

Tendo definida a potência do motor-gerador e o volume necessário para o biodigestor, o orçamento de instalação do sistema na propriedade e conexão com a rede de geração distribuída foi fornecido pela empresa prestadora de serviços em instalação de biodigestores, como pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3: Investimento Inicial.

	Custo (R\$)	Vida útil (anos)
Biodigestor 2.000 m ³	250.000,00	10
Biossulfurização e filtragem	35.000,00	
Motor-gerador 120 kVA	160.000,00	
Sistema de conexão à rede de GD	20.000,00	
Total do investimento	465.000,00	

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

No levantamento dos custos totais mensais, foi considerado o custo de manutenção estimado a empresa prestadora de serviços, o custo mensal de disponibilidade estabelecido pela concessionária e os valores de depreciação calculados para os equipamentos. Os valores determinados de depreciação de equipamentos e os custos totais mensais de operação do sistema de geração de energia podem ser vistos nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

Tabela 4: Cálculo de depreciação de materiais e equipamentos.

Equipamento/material	Valor inicial (R\$)	Valor final (R\$)	Vida útil (anos)	Depreciação (R\$/mês)
Biodigestor	250.000,00	25.000,00	10	1.875,00
Biossulfurização/ filtragem	35.000,00	3.500,00	10	262,50
Motor-gerador 120 kVA	160.000,00	16.000,00	10	1.200,00
Conexão à rede de GD	20.000,00	2.000,00	10	150,00
Total				3.487,50

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

*As taxas de depreciação são fixadas por meio de Instrução Normativa da Secretaria da Receita Federal (SRF), sendo 10% para instalações e 10% para equipamentos.

Tabela 5: Custo mensal de operação do sistema.

Itens de custo	R\$/mês
Depreciação	3.487,50
Manutenção	2.500,00
Custo de disponibilidade (100 kWh)	51,51
Total	6.039,01

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

A vida útil dos equipamentos, que corresponde a 10 anos, foi utilizada para elaborar o fluxo de caixa do projeto, com um investimento inicial de R\$ 465.000,00 (mês zero), taxa de desconto de 9,25% a.a. (0,7708% a.m.), benefício e custo fixo mensal de R\$ 16.183,63 e R\$ 6.039,01, respectivamente, resultando em um fluxo de caixa de R\$10.144,62 do primeiro ao último mês de análise.

De acordo com os dados obtidos (Tabela 6), os indicadores apresentam valores

economicamente viáveis: O VPL positivo indica que, a uma taxa de desconto de 0,7708% a.m., o valor presente de todos os fluxos de caixa futuros excede o investimento que foi feito inicialmente, implicando que o investimento inicial será recuperado; o projeto apresenta a taxa interna de retorno (1,96%), valor maior que a taxa mínima de atratividade; na relação benefício-custo, para cada real investido no projeto, haverá retorno de R\$ 1,70, e, o tempo de *payback* é de 57 meses (4,7 anos), indicando que neste período o fluxo de caixa se tornará positivo e o valor investido será recuperado; é importante ressaltar que na análise econômica, quanto menor o tempo de *payback*, mais atraente o projeto.

Tabela 6: Análise de viabilidade econômica.

Análise financeira	
VPL do projeto	R\$ 327.359,36
Taxa Interna de Retorno (TIR)	1,96%
Benefício-custo	1,70
Tempo de <i>payback</i> (meses)	57
Tempo de <i>payback</i> (anos)	4,7

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

5.1. Simulação de viabilidade para diferentes tempos de operação e diferentes consumos de energia

Com custos operacionais e de manutenção fixos, o uso do motor-gerador com diferentes tempos de operação foi avaliado (Tabela 7). Com base nos dados obtidos, é possível observar que quanto maior o tempo de operação do motor-gerador, maiores os benefícios mensais adquiridos, sendo que para tempos de operação de 13, 15 e 17 horas o investimento se mantém viável. Para tempos de operação de 9 e 11 horas o investimento não apresenta viabilidade financeira, indicando que o investimento inicial não seria recuperado no tempo de vida útil do sistema. A demonstração da influência do tempo de operação do conjunto motor-gerador é de extrema importância para o proprietário que adquire, pois, a falha no controle sobre a operação pode comprometer o retorno financeiro do investimento.

Tabela 7: Benefícios econômicos em diferentes tempos de operação.

Tempo de operação	Benefício (R\$ mês ⁻¹)	Custo (R\$ mês ⁻¹)	VPL (R\$)	TIR (%)	RBC	<i>Payback</i> (meses)
9	8.567,14	6.039,01	-267.536,96	-0,66	0,42	> 120
11	10.470,95	6.039,01	-118.837,29	0,23	0,74	> 120
13	12.374,76	6.039,01	29.862,38	0,89	1,06	108
15	14.278,57	6.039,01	178.562,05	1,46	1,38	74,36
17	16.183,63	6.039,01	327.359,36	1,96	1,70	56,77

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Em um estudo semelhante onde é necessário investir nas instalações para a produção de

biogás e no motor-gerador, Martins e Oliveira (2011) mostraram que para uma projeção de 4.167 suínos em uma propriedade, gerar energia num período de 10 horas por dia se torna viável economicamente, com base nos dados obtidos de custo anual em torno de R\$ 24.908,00, VPL de R\$ 53.398,00 e *payback* em 54 meses.

Rockenbach *et al.* (2016) também realizaram um estudo para mostrar a viabilidade econômica e o tempo necessário de retorno do capital investido para a instalação de um sistema de tratamento de dejetos suínos a partir da venda de créditos de carbono e/ou de compensação de energia elétrica em granjas de suínos de aproximadamente 600 suinocultores de Toledo - PR. Os resultados mostraram que é viável a utilização do biogás em uma escala de produção com um funcionamento diário dos equipamentos por 10 horas diárias ou mais, o que equivale a um período de retorno de investimento entre 70 e 80 meses.

Desta forma, a partir dos resultados obtidos, com um tempo de operação fixo de 17 horas foram simulados diferentes cenários de consumo de energia para avaliar o benefício da implementação do sistema de geração. A Tabela 8 apresenta os valores simulados de consumo mensal de energia elétrica na propriedade, o valor equivalente em unidades monetárias, o benefício gerado com a produção de energia a partir do biogás, e, os créditos de energia gerados na concessionária, que são adquiridos quando a propriedade gera mais energia que o consumido. Quando os créditos obtidos são negativos, o proprietário deve pagar à concessionária o valor referente.

Tabela 8: Simulação do consumo médio de energia e economia gerada.

Consumo mensal	Equiv. (R\$)	Benefício (R\$)	Créditos de energia (R\$)
10 MWh	5.151,00	16.183,63	+ 11.032,63
20 MWh	10.302,00	16.182,38	+ 5.881,63
30 MWh	15.453,00	16.182,38	+ 730,63
40 MWh	20.604,00	16.182,38	- 4.420,37
45 MWh	23.179,50	16.182,38	- 6.997,12
50 MWh	25.755,00	16.182,38	- 9.572,62

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

De acordo com os dados apresentados, para um consumo médio de até 30 MWh, a produção de energia elétrica gerará créditos de energia positivos que poderão ser usados para a redução das faturas seguintes ou aplicados em outras unidades consumidoras de mesma titularidade. Entretanto, para consumos superiores a 40 MWh, será necessário realizar o pagamento à concessionária local.

Além da produção de energia elétrica, outro fator pode ser levado em consideração para

que o sistema traga o máximo possível de lucratividade: o alto teor de carbono, nitrogênio e fósforo presente no esterco o torna altamente indicado para a recuperação de biofertilizante após a digestão anaeróbia (DE VRIEZE *et al.*, 2019). A possibilidade da utilização do resíduo do biodigestor para esta finalidade se deve à diminuição de teor de gás carbônico e, conseqüentemente, ao aumento do nitrogênio, o que melhora as condições do material para o uso agrícola, além de tal processo reduzir o odor desse resíduo (GOMES, 2013). Entretanto, a logística de uso, venda ou estocagem desse material devem ser considerados na análise de viabilidade.

De maneira geral, os benefícios de um sistema de geração de energia elétrica a partir do aproveitamento dos dejetos de suínos ultrapassam os aspectos financeiros e trazem grande benefício ambiental. Segundo estudo feito por Ruiz *et al.* (2018), as emissões evitadas associadas ao manejo adequado do esterco de suínos/bovinos tiveram impacto principalmente na toxicidade humana, ecotoxicidade da água doce e emissão de material particulado. Desta forma, aliar o gerenciamento de resíduos potencialmente poluidores à geração de energia limpa é uma estratégia promissora e cada vez mais demandada, o que requer das partes interessadas um planejamento detalhado para uma recuperação viável, eficiente e duradoura.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A granja de suínos estudada possui um elevado potencial para produção de energia elétrica a partir do biogás. Segundo os dados econômicos apresentados, a instalação do sistema apresenta viabilidade, podendo contribuir para a economia financeira, consciência social e autossustentabilidade. Podemos concluir que o tempo de operação do sistema tem impacto direto na viabilidade do investimento e precisa ser monitorado para que se opere em um intervalo de tempo ideal e de maneira eficiente. É importante salientar que tendo um consumo de energia médio menor ou igual a 30 MWh, a propriedade poderá usufruir do sistema de compensação de créditos de energia ou até mesmo aplicar em outras unidades consumidoras de mesma titularidade. Por fim, as unidades que utilizam fontes renováveis e não demandam de alta tecnologia para instalação são soluções que podem diminuir a dependência de energia das concessionárias de energia elétrica e contribuir para o desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Geração Distribuída**. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>> Acessado em: Set, 2022.

BERNARDES, P. A. C. S. *et al.* **Net metering and tax incentives for distributed generation in Brazil: Economic impact analysis for swine biogas**. Journal of Cleaner Production, p. 134138, 2022.

CERVI, R. G.; ESPERANCINI, M. S. T; BUENO, O. C. **Viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suinícola para geração de energia elétrica**. Engenharia Agrícola, v. 30, p. 831-844, 2010.

CÔRTEZ, D. A.; ROCHA, E. M. D.; SABIÃO, R. M. **Biodigestor para a produção de Biogás e Biofertilizante com Utilização de Dejetos Suínos**. Psicologia e Saúde em debate, v. 5, n. Suppl. 1, p. 8-9, 2019.

DE VRIEZE, J. *et al.* **Resource recovery from pig manure via an integrated approach: A technical and economic assessment for full-scale applications**. Bioresource technology, v. 272, p. 582-593, 2019.

EMBRAPA - **Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil** - Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2018.

EQUATORIAL MARANHÃO. **Valor de Tarifas e serviços**. Disponível em: <<https://ma.equatorialenergia.com.br/informacoes-gerais/valor-de-tarifas-e-servicos/#demais-classes>> Acessado em: Set, 2022.

GOMES, T. M. S.; RAIHER, A. P. **Viabilidade econômica da produção de biogás de dejetos suínos: um estudo de caso**. Revista Ciências Administrativas, v. 19, n. 2, p. 776-815, 2013.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. **Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás**. Revista de Política Agrícola, ano 15, n. 3, p. 28-35, 2006.

MARTINS, F. M.; OLIVEIRA, P. A. V. **Análise econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás na suinocultura**. Engenharia Agrícola, v. 31, n. 3, p. 477-486, 2011.

NETO, A. M. V. *et al.* **Competência técnica e responsabilidade social e ambiental nas ciências agrárias - Caracterização e impacto ambiental da suinocultura na região nordeste do brasil**, p. 1-388–416, 2020.

ROCKENBACH, F. L.; SOUZA, A. M.; OLIVEIRA, J. H. R. **Economic feasibility of biogas production in swine farms using time series analysis**. Ciência Rural, v. 46, p. 1295-1300, 2016.

RUIZ, D. *et al.* **Environmental and economic analysis of power generation in a thermophilic biogas plant**. Science of the Total Environment, v. 633, p. 1418-1428, 2018.

SANTOS, G. G. **Análise espacial das principais produções agropecuárias do estado do Maranhão**, 2020.

SAENZ, I. B. Z. **Resultados de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Cambio**

Climático (COP 26), 2021.

ZOTTI, C. A.; PAULINO, V. T. Metano na produção animal: Emissão e minimização de seu impacto. PUBVET, v. 3, p. 641, 2009.

CAPÍTULO 6

AVALIAÇÃO AMBIENTAL MACROSCÓPICA DAS NASCENTES DA SUB-BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO CACHIMBO EM PALMAS-TO

Eduardo Silva Ries
Girlene Figueiredo Maciel
Roberta Araújo e Silva
Eduardo Quirino Pereira
Erich Collicchio

RESUMO

As nascentes são afloramentos freáticos que dão origem a riachos e rios e possuem valor inestimável na composição das bacias hidrográficas. O processo de uso e ocupação irregular do solo, em especial de Áreas de Preservação Permanente, pode comprometer as capacidades qualitativas e quantitativas de fornecimento de água das nascentes. O presente trabalho buscou identificar de forma qualitativa os impactos ambientais aos quais as nascentes da Sub-Bacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo no Município de Palmas estão sendo submetidas devido ao processo de urbanização dos bairros Santo Amaro e Lago Norte através da aplicação de uma Avaliação Macroscópica de Impactos Ambientais em Nascentes. Nesta avaliação foram verificados 20 parâmetros que valoram as condições ambientais do local das nascentes e de suas respectivas Áreas de Preservação Permanente. O diagnóstico ocorreu a partir de observações in loco, juntamente com registro fotográfico das condições das áreas vistoriadas em duas expedições de campo realizadas nos meses de setembro de 2021 e janeiro de 2022. As expedições ao campo foram antecedidas de aquisição e tratamento de camadas vetoriais e imagens de satélite, confecção de mapas e revisão bibliográfica. Como resultado foram identificadas três nascentes que dão início ao Córrego Cachimbo, duas nascentes intermitentes e uma nascente perene. Dentre os impactos ambientais identificados nas nascentes avaliadas destaca-se a deposição de resíduos sólidos urbanos no interior da nascente, a facilidade de acesso de humanos e animais, a presença de animais domésticos no interior das nascentes e a existência de moradias e equipamentos de infraestrutura urbana nas Áreas de Preservação Permanente. O Índice de Qualidade Ambiental de Nascentes obtido através do estudo indicou que nenhuma das nascentes identificadas pode ser classificada como “Preservada”. As duas nascentes intermitentes encontram-se “Moderadamente Preservadas” e a nascente perene encontra-se “Degradada”.

PALAVRAS-CHAVE: Afloramento freático. Avaliação macroscópica. Diagnóstico ambiental.

1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural indispensável e de primordial importância, tendo influência direta na manutenção da vida, saúde e bem-estar do homem e servindo para garantir a autossuficiência econômica de uma região ou país.

Com o avanço do debate ambiental, em contraponto ao crescimento populacional, tecnológico, industrial e a demanda crescente da sociedade moderna por produtos provenientes da natureza, questões que antes eram negligenciadas agora são cada vez mais discutidas como: perda de biodiversidade, poluição do ar e da água, falta de saneamento básico e crises climáticas como secas e inundações (GOMES, 2015).

O processo de ocupação e uso do solo de uma bacia hidrográfica, que envolve desmatamento e ocupação irregular de áreas de preservação permanente, em especial as áreas de nascente, potencializam a degradação ambiental, podendo esta ser associada à outros impactos ambientais como supressão da vegetação, queimadas, erosão, compactação e perda de fertilidade do solo, assoreamento de canais fluviais, contaminação de corpos hídricos, diminuição da recarga de aquíferos, rebaixamento do lençol freático e exaustão de nascentes (GOMES, 2015).

As nascentes são afloramentos freáticos que dão origem a riachos e rios tendo valor inestimável na composição das bacias hidrográficas (PARANHOS, 2012). As nascentes podem perder sua capacidade qualitativa e quantitativa quando são alteradas por atividades antrópicas, pelo uso e ocupação em seu entorno e na área de recarga do lençol freático, o que pode comprometer o reabastecimento e qualidade da água.

A conservação destas áreas de manifestação superficial das águas subterrâneas exige, além da regeneração das características ambientais, a recuperação e o manejo dos cursos de água degradados, a fim de controlar a evolução dos processos erosivos (PARANHOS, 2012).

Segundo Pinto *et al.* (2004), o gerenciamento adequado dos recursos hídricos, inclui uma avaliação do estado de conservação das nascentes responsáveis pelos mananciais e visam analisar as interações com as ações antrópicas da bacia hidrográfica a qual a nascente está inserida.

Este trabalho se propõe a aplicar a metodologia da Avaliação Ambiental Macroscópica, proposta por Gomes (2015) nas nascentes da Sub-bacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo. O objetivo geral do trabalho é a de realizar a identificação e avaliação qualitativa de impactos ambientais nas nascentes da Sub-bacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo no município de Palmas - TO. Os objetivos específicos do trabalho são os de: identificar as nascentes da Sub-bacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo; realizar um levantamento fotográfico dos impactos ambientais identificados; implementar a avaliação macroscópica de impactos ambientais nas nascentes; estimar o grau de conservação através do Índice de Qualidade Ambiental das Nascentes.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Nascentes

Felippe e Magalhães Jr. (2009) definem as nascentes como sistemas ambientais naturais, marcados por uma feição geomorfológica ou estrutura geológica que permite o afloramento da

água subterrânea, podendo este afloramento ocorrer de modo temporário ou perene, formando canais de drenagem a jusante que a inserem na rede de drenagem de uma bacia hidrográfica.

Porém os mesmos autores destacam que o conceito de nascente ainda é dúbio, impreciso e pouco explorado, carecendo de estudos científicos estritamente relacionados ao tema.

Segundo Paranhos (2012), a nascente é o fenômeno de descarga de água subterrânea, que aflora espontaneamente à superfície do terreno, ocorrendo em determinadas condições topográficas e geológicas, caracterizando uma área de descarga dos aquíferos.

O Código Florestal Brasileiro, disposto na Lei Federal n. 12.651 de 25 de maio de 2012 define uma nascente como o “afloramento natural do lençol freático que apresenta perenidade e dá início a um curso d’água”. A mesma lei também diferencia o termo nascente de olho d’água, conceituando este último como “afloramento natural do lençol freático, mesmo que intermitente” (BRASIL, 2012). Segundo Souza *et al.* (2019), considerando a legislação, a diferença fundamental entre os dois termos é que as nascentes são perenes e sempre dão início a um curso d’água, já os olhos d’água podem ser perenes ou intermitentes, porém deles não derivam rios.

2.2. Os impactos da urbanização na degradação dos cursos hídricos e nascentes

Nas últimas décadas os ecossistemas aquáticos vêm sendo alterados de forma demasiada devido ao aumento desordenado e acentuado dos diversos impactos decorrentes das atividades antrópicas. Dentre as formas de mau uso da água, pode-se citar a retirada excessiva; o desperdício; a poluição; a contaminação; o desmatamento; e a urbanização (VIANA; COSTA, 2015).

O processo de desenvolvimento urbano tem se caracterizado pelo grande número de construções, pela aglomeração urbana e pela ampliação do perímetro urbano das cidades, ocasionando a redução drástica da cobertura vegetal e a deterioração dos cursos de água. A ampliação dos perímetros urbanos de muitas cidades ignorou as funções ecológicas, econômicas, estáticas que a vegetação e os cursos hídricos podem desempenhar na qualidade de vida da população de uma cidade (KIMURA, 2014).

A urbanização apresenta uma série de impactos ao sistema hídrico devido ao crescimento da demanda pelos recursos hídricos, potencializados pelo aumento da densidade demográfica e a impermeabilização do solo. Estas modificações podem impactar o balanço

hídrico das cidades, o que ocasiona um aumento da quantidade e intensidade de inundações devido à redução do potencial de infiltração do solo (FELIPPE; MAGALHÃES JR., 2009).

De acordo com Moraes e Jordão (2002), as populações com baixo poder aquisitivo começaram a se concentrar em periferias carentes de serviços públicos essenciais, o que acabou por contribuir diretamente para a criação de pontos de poluição, como fontes de lançamento de efluentes líquidos não tratados, além de problemas com a drenagem pluvial agravados pela ocupação irregular, supressão vegetal e a disposição inadequada de resíduos sólidos urbanos. A legislação específica para grande parte das zonas urbanas brasileiras não garantiu a necessária proteção das nascentes ao longo do tempo, devido: “à falta de operacionalização do aparato legal, mas também aos diversos interesses especulativos e imobiliários do espaço urbano”.

A principal consequência da urbanização na dinâmica das nascentes é a alteração da vazão. Devido a expansão da mancha urbana, supressão vegetal e impermeabilização do solo, que conseqüentemente reduzem a infiltração e recarga dos aquíferos, em muitos casos as nascentes desaparecem, migram para jusante do seu ponto original ou tornam-se temporárias. (FELIPPE; MAGALHÃES JR, 2009).

2.3. Avaliação macroscópica de impactos ambientais em nascentes - Amian

A Avaliação Macroscópica de Impactos Ambientais em Nascentes (AMIAN), proposta por Gomes *et al.* (2005), é uma adaptação da Classificação do Grau de Impacto da Nascente do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos de Portugal e do Guia de Avaliação da Qualidade das Águas. Esta metodologia vem sendo adaptada e utilizada por diversos autores na análise de impactos ambientais em nascentes, tais como Felipe (2009); Oliveira *et al.* (2016); Gomes (2015), Leal *et al.* (2017) e Souza (2018).

Segundo Leal *et al.* (2017), a Avaliação Macroscópica das Nascentes é uma metodologia simples, prática, didática e com resultados satisfatórios, que tem por objetivo verificar de forma qualitativa e visual, o grau de conservação em que as nascentes se encontram a partir da identificação dos impactos ambientais negativos presentes na área, para que seja possível elencar medidas mitigadoras aos impactos identificados.

A metodologia consiste em uma análise sensorial, macroscópica, na qual o pesquisador faz observações visuais a olho nu, *in loco*, da área da nascente e de seu entorno. A avaliação macroscópica utiliza fichas com os parâmetros a serem avaliados, a valoração de acordo com a observação de cada parâmetro, de modo a padronizar a coleta dos dados (SOUZA, 2018).

Gomes (2015) adaptou a metodologia proposta por Gomes (2005) e elaborou uma metodologia para a Avaliação Ambiental Macroscópica das Nascentes que contempla um conjunto de 20 (vinte) parâmetros que abordam aspectos legais, geológicos, biológicos, interferências antrópicas e a observação das condições ambientais que refletem a qualidade da preservação da nascente em estudo.

Para realizar a Avaliação Ambiental Macroscópica das Nascentes são avaliados um total de 20 parâmetros. Onde para cada um desses parâmetros são atribuídos os seguintes valores, a depender da avaliação feita pelo pesquisador: (1) sem impacto ou não observável; (3) com impacto, ou observável; (2) presente em apenas alguns atributos para representar valores intermediários (GOMES, 2015). O quadro abaixo apresenta os critérios, sua descrição e a valoração a ser adotada no momento da avaliação.

Quadro 1: Ficha de Avaliação Macroscópica de Impactos Ambientais em Nascentes.

Parâmetros	Valoração dos parâmetros		
	1	2	3
Processos observados na nascente	Sem erosão e/ou sem assoreamento	-	Erosão e/ou assoreamento
Processos observados na APP	Sem erosão e/ou sem assoreamento	-	Erosão e/ou assoreamento
Cor na água	Incolor	-	Com coloração
Turbidez	Isenta de turbidez	-	Turva
Odor	Inodoro	-	Com odor
Resíduos sólidos dentro da nascente	Virtualmente ausente	-	Presente
Resíduos sólidos na APP da nascente	Virtualmente ausente	-	Presente
Materiais flutuantes	Virtualmente ausente	-	Presente
Óleos e graxas	Visualmente ausente	-	Presente
Esgoto na APP	Virtualmente ausente	-	Fluxo direto/pluvial
Esgoto na Nascente	Virtualmente ausente	-	Fluxo direto/pluvial
Eutrofização	Virtualmente ausente	-	Macrófitas aquáticas e/ou Matéria Orgânica
Vegetação	Preservada	Alterada	Suprimida
Sinais de acesso de animais à nascente	Virtualmente ausente	-	Presente
Sinais de acesso de animais à APP	Virtualmente ausente	-	Presente
Uso por humanos	Virtualmente ausente	Esporádico	Uso observado
Acesso à nascente por humanos	Difícil	-	Fácil
Proximidade com residências e/ou criatórios	Não observado	Mais de 50 metros	Menos de 50 metros
Equipamentos de infraestrutura	Não observado	Mais de 50 metros	Menos de 50 metros
APP (raio de 50 metros a partir da nascente)	Preservada	-	Impactada

Fonte: Gomes (2015).

2.4. Índice de qualidade ambiental das nascentes - IQAN

O Índice de Qualidade Ambiental das Nascentes – IQAN é determinado através somatório dos pontos de todos os parâmetros avaliados para cada nascente, definindo um grau de preservação que reflete a qualidade ambiental do ambiente em que ela está situada. Gomes (2015) estabeleceu a seguinte classificação de acordo com a pontuação total obtida.

Quadro 2: Índice de Qualidade Ambiental das Nascentes

Pontuação Final	Grau de Preservação
De 20 a 32 pontos	Preservada
De 33 a 46 pontos	Moderadamente preservada
De 47 a 60 pontos	Degradada

Fonte: Gomes (2015).

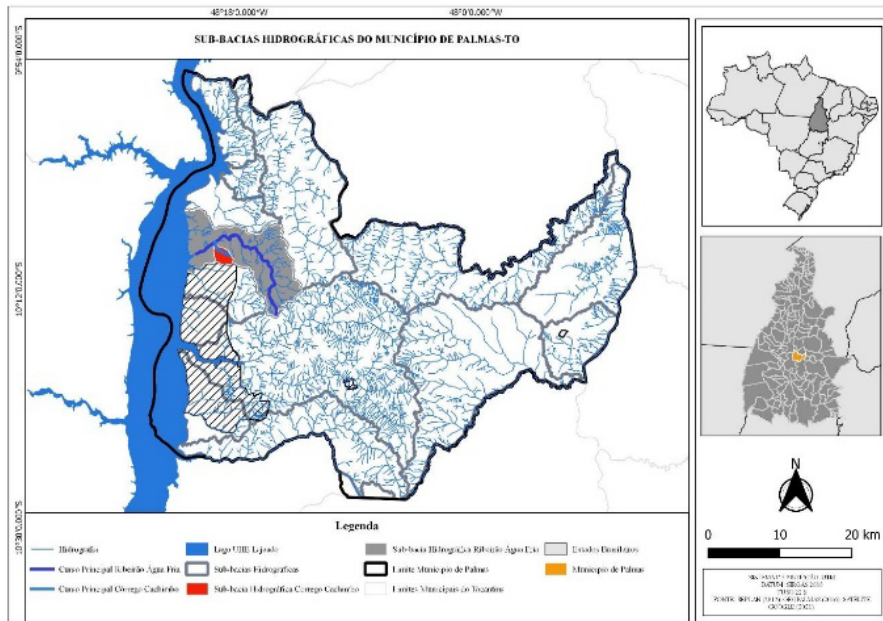
3. METODOLOGIA

3.1. Local de estudo

O município de Palmas está localizado na mesorregião oriental do estado do Tocantins, tendo sido fundada em 20 de maio de 1989. A sede do município está localizada nas coordenadas geográficas -10°12'46" Sul e 48°21'37" Oeste. O município ocupa uma área aproximada de 2.227,329 km². Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a população estimada do município, no ano de 2021, era de 313.349 habitantes (BRASIL, 2021).

A área territorial do município está inserida em duas bacias hidrográficas. A bacia hidrográfica do Rio Tocantins e do Rio Balsas. As principais sub-bacias que abrangem a área territorial do município são: Ribeirão Água Fria, Ribeirão Taquaruçu Grande, Ribeirão São João, Ribeirão Jaú, Córrego Barreiro, Ribeirão Lajeado e Córrego do Prata, estas contribuindo para a bacia do Rio Tocantins, e Ribeirão São Silvestre, Ribeirão Piabanha e Rio das Balsas contribuintes da bacia hidrográfica do Rio Balsas (TOCANTINS, 2012).

Figura 1: Sub-bacias Hidrográficas do Município de Palmas -TO.

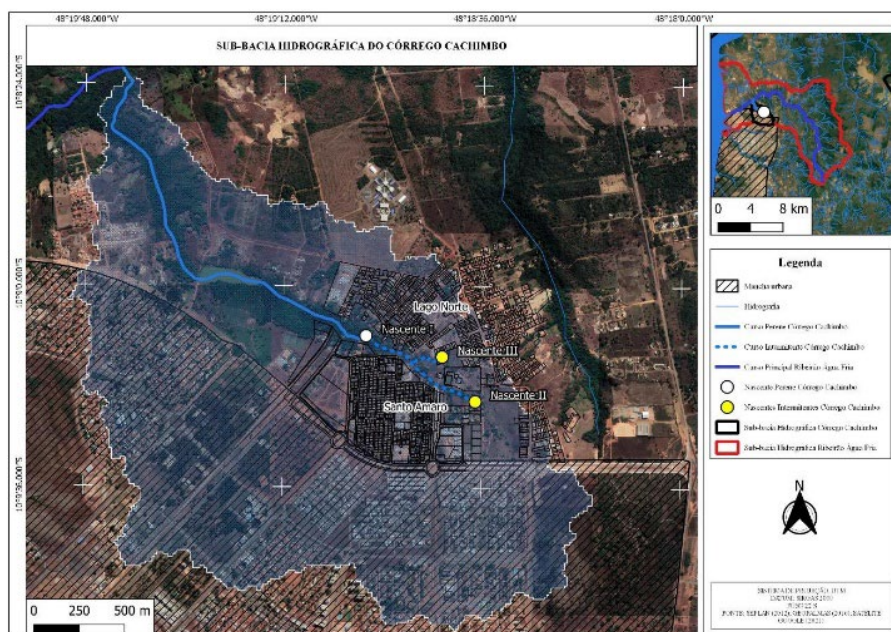


Fonte: Autoria própria (2022).

A Sub-bacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo (SBHCC) é contribuinte da Sub-bacia Hidrográfica do Ribeirão Água Fria e também está situada na porção ocidental do município. A Sub-bacia do Córrego Cachimbo ocupa uma área estimada de 4,97 km², cujo curso principal possui uma extensão entre sua nascente perene e o exultório estimada em 3,13 km.

A Sub-Bacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo está localizada na porção ao norte do Plano Diretor da cidade entre os setores Santo Amaro I e II e Lago Norte conforme ilustrado pela Figura 2.

Figura 2: Sub-bacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo.



Fonte: Autoria própria (2022).

3.2. Tipo de pesquisa

Gil (1999, p. 44-46) classifica os métodos de pesquisas em três grupos: estudos exploratórios, descritivos e explicativos. Partindo desta premissa, o presente estudo pode ser classificado quanto aos objetivos como uma pesquisa exploratória.

Segundo Gil (1999, p. 43), os tipos de pesquisas exploratórias habitualmente envolvem levantamento bibliográfico e documental, entrevistas não padronizadas e estudos de casos. Em relação aos procedimentos técnicos a pesquisa pode ser classificada como um levantamento de campo que tem por objetivo promover o confronto entre os dados, as evidências, as informações coletadas e o conhecimento teórico acumulado a respeito dele.

3.3. Coleta dos dados

A localização da nascente, das Sub-bacias Hidrográficas e cursos hídricos se deu através de análise em software *GIS* dos dados vetoriais disponibilizado através da plataforma *Geoportal Seplan* (TOCANTINS, 2012) Através destas informações foi possível a confecção dos mapas temáticos e planejamento das etapas de levantamento de informações “*in-loco*”.

Foram realizados dois levantamentos de dados em campo na área das nascentes da Sub-Bacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo, o primeiro levantamento ocorreu no mês de setembro de 2021, durante o período seco do ano hidrológico, e o segundo levantamento ocorreu no mês de janeiro de 2022, durante o período úmido (GOULARTE; MARCUZZO, 2013). Estes dois levantamentos permitiram acompanhar mudanças nas características das nascentes e nos impactos ambientais entre o período seco e úmido.

Através do uso de um smartphone foi possível obter as coordenadas geográficas e realizar o levantamento fotográfico da nascente e sua área de preservação permanente. Para o levantamento fotográfico utilizou-se além do aplicativo nativo da câmera do smartphone, um segundo aplicativo denominado *TimeStamp Camera* que permite o registro das imagens apresentando as coordenadas geográficas, além da data, horário em que as mesmas foram geradas. Para o registro das informações da Avaliação Ambiental Macroscópica em Nascentes apresentada no tópico anterior utilizou-se o aplicativo *ODK Collect* que é capaz de criar e aplicar formulários de modo offline, sendo ideal para trabalhos em campo em locais remotos. e posteriormente enviar as informações coletadas para uma pasta no *Google Drive* assim que a disponibilidade de internet for restabelecida.

3.4. Análise dos dados

As informações coletadas na etapa de levantamento bibliográfico e de levantamento “*in-loco*” foram compiladas e organizadas através um notebook utilizando-se de softwares de planilha para realização dos cálculos e melhor organização dos dados e de software *GIS* para confecção dos mapas temáticos e espacialização dos dados.

4. RESULTADOS

Esta pesquisa avaliou os impactos ambientais aos quais as nascentes da Sub-bacia Hidrográfica do Córrego Cachimbo estão sendo submetidas através da coleta de informações “*in loco*” em três levantamentos de campo realizados entre os meses de setembro de 2021 e janeiro de 2022.

Nos dois levantamentos percorreu-se o perímetro da sub-bacia hidrográfica que de acordo com os shapes de hidrografia da Tocantins (2012) havia a possibilidade da existência de nascentes. A rota das vistorias foi mantida durante as expedições de modo a observar ao longo do tempo possíveis mudanças nas características das nascentes ou nos impactos ambientais.

Através destes levantamentos foi possível identificar a existência de uma nascente perene (Nascente I) que mantem o afloramento de água durante todo período seco e outras duas nascentes intermitentes (Nascentes II e III), localizadas a montante da nascente perene, que só apresentaram afloramento durante o período chuvoso.

4.1. Primeiro levantamento de campo

O primeiro levantamento de campo ocorreu no dia 15 do mês de setembro de 2021. Conforme demonstrado na Figura 3, nos quatro meses anteriores houve apenas um registro de precipitação com total acumulado de 3,0 mm na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia localizada na cidade.

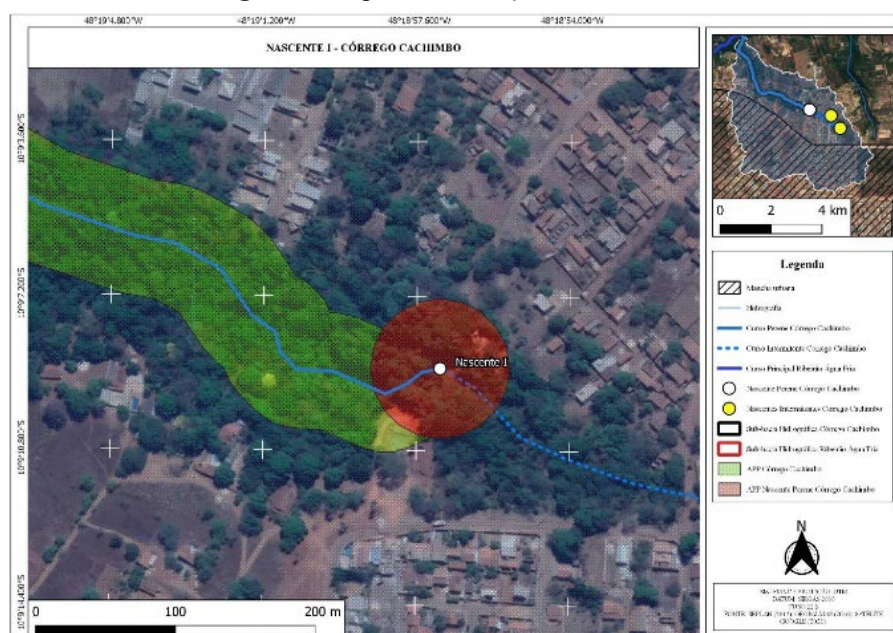
Figura 3: Precipitação diária de 15/05/2021 a 15/09/2021 no município de Palmas - TO.



Fonte: INMET (2022).

Neste primeiro levantamento apenas a Nascente I apresentou afloramento de água, as demais nascentes (II e III) estavam completamente secas. Portanto neste primeiro levantamento foi realizada a aplicação da AMIAN apenas na Nascente I.

Figura 4: Mapa de localização da Nascente I.



Fonte: Autoria própria (2022).

A Nascente I apresentou características semelhantes a uma nascente difusa, com múltiplos pontos de afloramento de água. O acesso para nascente é fácil e livre, pois existem ruas a pouco mais de 50 metros do interior da nascente e existem trilhas que levam ao curso hídrico e conseqüentemente a nascente. Não existem grades ou cercas que impeçam o acesso de humanos ou animais até o interior da nascente ou da Área de Preservação Permanente. A água que aflora da nascente não apresentou turbidez ou presença líquidos semelhantes a óleos

e graxas na superfície da lâmina d'água. Foi possível identificar a presença de isopor como material flutuante na superfície da água da nascente.

A nascente está localizada no interior de uma depressão no solo que foi progressivamente erodida pela força da água proveniente das chuvas desviadas e concentradas em um canal de concreto a montante da nascente construído por particulares. Este canal tem por objetivo desviar a água das chuvas que escoam pelas ruas do setor Lago Norte (que não possui sistema de drenagem pluvial) para o interior da mata na qual localiza-se a nascente e o córrego.

Em alguns pontos no interior da nascente foi possível observar a formação de pequenas acumulações de água de coloração esverdeada em decorrência da proliferação de algas, provável indicação de eutrofização decorrente da decomposição de materiais orgânicos coloidais, como folhas, madeiras, esgotos domésticos e efluentes industriais (taninos, anilinas, lignina e celulose) e inorgânicos (como compostos de ferro e manganês) naturais transportados pelas águas pluviais (GOMES, 2015).

Neste local é possível sentir um forte odor exalado pela água. O odor pode ser resultante de causas naturais, como vegetação em decomposição, bactérias, fungos e compostos orgânicos como gás sulfídrico, dentre outros, ou artificiais (esgotos in natura domésticos e industriais) (GOMES, 2015). Apesar de não ter sido possível observar lançamento direto de esgoto na área da nascente, devido a existência desse canal de concreto que concentra as águas pluviais do setor Lago Norte, não é possível descartar a possibilidade de que efluentes líquidos sejam transportados para o interior da nascente através da água das chuvas.



Foi possível observar uma grande quantidade de resíduos sólidos de construção civil no interior da nascente, estes resíduos provavelmente são provenientes do material que antes constituía o canal de concreto que com o passar do tempo foi se degradando e o material foi se depositando no interior da nascente. Também foi possível observar a presença de resíduos sólidos urbanos como sacolas plásticas e latas de alumínio no interior da área da nascente. A deposição inadequada de resíduos em fundos de vale e cursos d'água favorece abrigo e a proliferação de vetores que transmitem zoonoses, pode gerar contaminação dos corpos hídricos e do solo, assoreamento e enchentes.

Foi possível observar a presença de exemplares de espécies invasoras como *Leucena* (*Leucaena leucocephala*) no interior da nascente, indicativo que pode evidenciar características

de áreas antropizadas, sendo esta espécie considerada uma das 100 espécies invasoras mais agressivas do planeta, pois a mesma dificulta o estabelecimento de espécies nativas.

Dentro da Área de Preservação Permanente da Nascente foi possível observar a existência de residências a pouco menos de 20 metros a montante da nascente e a cerca de 40 metros a jusante da nascente existe uma galeria de lançamento de drenagem pluvial implantado no ano de 2021 que atende ao bairro Santo Amaro I e II.

Quadro 3: Imagens obtidas na aplicação da AMIAN durante o primeiro levantamento.

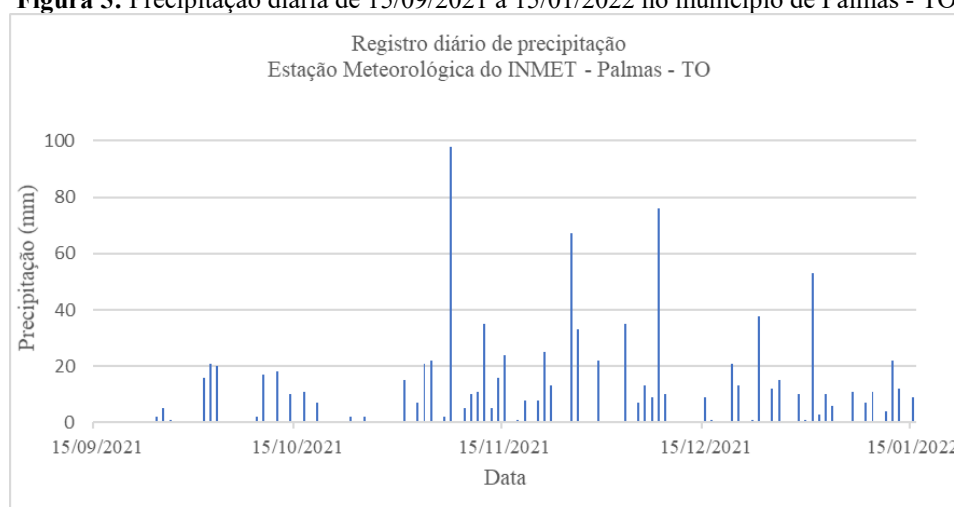
 <p>15 de set. de 2021 09:44:26 22L 794130 8876515 106° E Palmas</p>	 <p>15 de set. de 2021 09:42:38 22L 794136 8876512 102° E Palmas</p>
 <p>15 de set. de 2021 09:42:39 22L 794135 8876512 80° E Palmas</p>	
	 <p>15 de set. de 2021 09:51:06 22L 794079 8876399 207° SW Palmas</p>

Fonte: Autoria própria (2022).

4.2. Segundo levantamento de campo

O segundo levantamento de campo ocorreu no dia 14 do mês de janeiro de 2022. Conforme demonstrado na figura 5, nos quatro meses anteriores o volume total acumulado de precipitação na estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia localizada na cidade de Palmas - TO totalizou 1.002,9 mm. Houve registro de precipitação no dia anterior ao segundo levantamento de campo. Conforme Goularte e Marcuzzo (2013) o mês de janeiro está inserido no período úmido do estado do Tocantins que se estende de outubro a abril.

Figura 5: Precipitação diária de 15/09/2021 a 15/01/2022 no município de Palmas - TO.



Fonte: INMET (2021).

No segundo levantamento constatou-se o afloramento de água nas Nascentes II e III, que estavam secas no levantamento anterior. Não foi possível a aplicação da AMIAN no ponto onde anteriormente foi identificada a Nascente I, pois neste local o curso hídrico do Córrego Cachimbo já estava consolidado devido ao afloramento das Nascentes II e III localizadas a montante.

Figura 6: Mapa de localização da Nascente II.



Fonte: Autoria própria (2022).

A Nascente II é uma nascente intermitente que apresentou características semelhantes a uma nascente difusa, com múltiplos pontos de afloramento de água. O acesso para nascente é fácil e livre não existem grades ou cercas que impeçam o acesso de humanos ou animais a nascente. Foi possível também observar a existência de uma pequena estrada de terra que passa nas proximidades onde transitam veículos de pequeno porte. Foi possível identificar a existência de resíduos sólidos urbanos como sacolas plásticas, latinhas de alumínio, pneus e calçados nas proximidades da nascente.

Devido à proximidade com a estrada que passa pelo local a constante movimentação dos veículos propiciou a suspensão de sedimentos na água fazendo com que a água apresentasse elevada turbidez poucos metros após o afloramento de água. Não foi identificado odor na amostra de água nem sinais de eutrofização. Não foi possível observar a olho nú a presença de óleos e graxas na lâmina d'água ou de materiais sólidos flutuantes.

A vegetação encontra-se bem preservada, sem sinais de supressão vegetal ou presença de exemplares de espécies exóticas e/ou ornamentais. Foram identificadas residências nas proximidades da nascente e a presença de cães domésticos (*Canis lupus familiaris*). Não foram identificados sinais de erosão ou assoreamento na localidade da nascente ou em sua APP.

Figura 7: Mapa de localização da Nascente III.



Fonte: Autoria própria (2022).

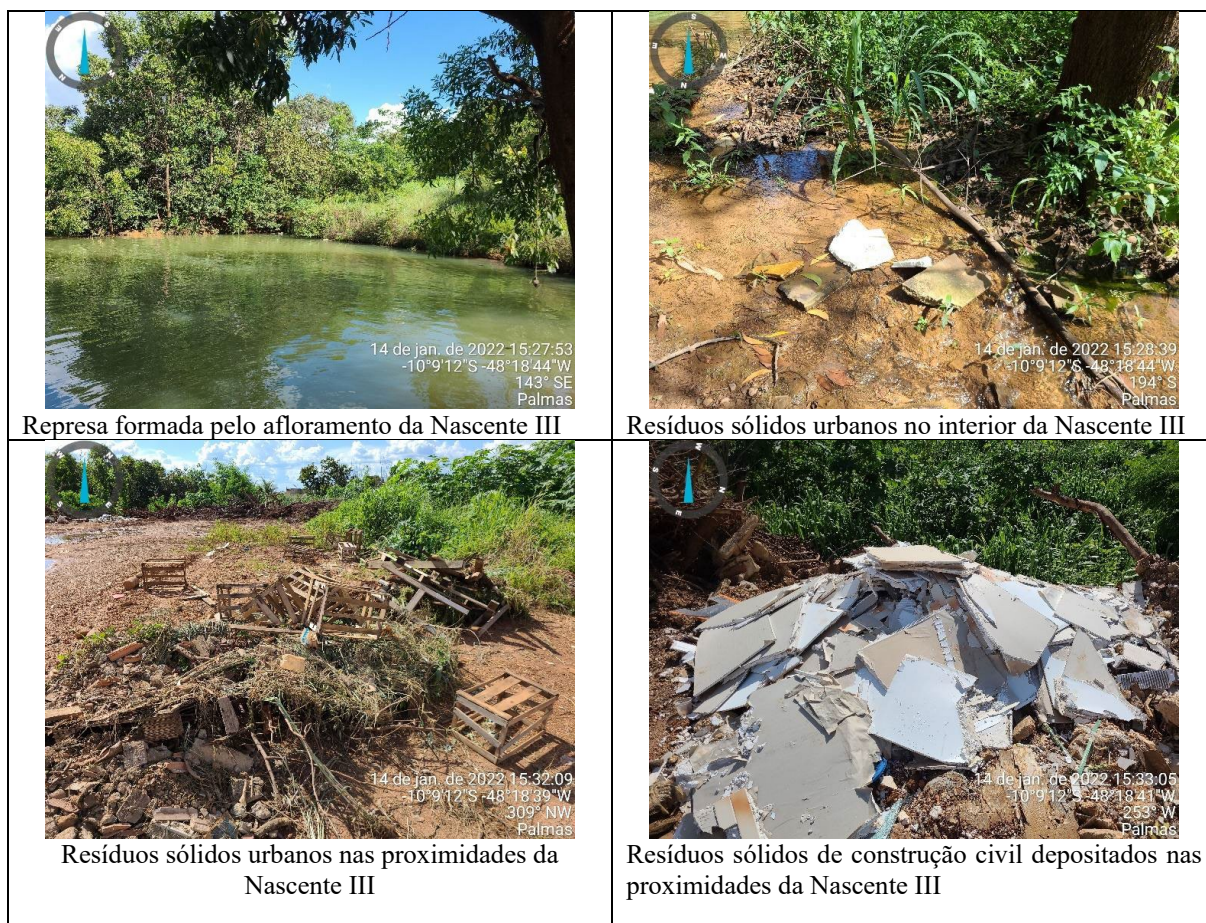
A Nascente III é uma nascente intermitente que apresentou uma característica semelhante a uma nascente difusa cujo afloramento está localizado no interior de uma represa. Essa represa, de origem antrópica, é abastecida diretamente pelo afloramento da Nascente III e encontrava-se cheia no momento do segundo levantamento de campo, contrastando com o observado no primeiro levantamento onde encontrava-se totalmente seca. Devido sua beleza

cênica e o grande volume de água o local é utilizado por moradores locais para banho, no momento do levantamento haviam 15 pessoas no local realizando consumo de bebidas alcoólicas e de refeições. Juntamente com os moradores haviam exemplares de cães domésticos (*Canis lupus familiaris*).

A água não apresentava odor, turbidez ou coloração. A vegetação no entorno da APP encontra-se alterada devido a presença de espécies exóticas invasoras como a Leucena (*Leucaena leucocephala*). Foi possível identificar uma quantidade considerável de resíduos sólidos urbanos e de resíduos de construção civil nas proximidades e no interior da nascente. Foram identificados materiais flutuantes como sacolas plásticas e isopor na superfície da água da nascente. O local encontra-se próximo a residências e a vias urbanas não pavimentadas do setor Lago Norte. Não foi possível identificar o fluxo direto de esgoto para o interior da nascente e de sua correspondente APP, porém, devido à inexistência de sistema de coleta e tratamento de esgoto no setor Lago Norte e a proximidade de residências com a nascente, não é possível descartar o transporte de efluentes por fluxo pluvial.

Quadro 4: Imagens obtidas na aplicação da AMIAN durante o primeiro levantamento.





Fonte: Autoria própria (2022).

4.3. Aplicação do Iqan para as nascentes do Córrego Cachimbo

O Índice de Qualidade Ambiental das Nascentes – IQAN é determinado através somatório dos pontos obtidos para cada parâmetro avaliados na AMIAN em cada nascente, definindo um grau de preservação que reflete a qualidade ambiental do ambiente na que ela está situada. O Quadro 5 sintetiza as valorações observadas a partir a aplicação da AMIAN para as três nascentes do Córrego Cachimbo.

Quadro: Valorações obtidas a partir da aplicação da AMIAN nas nascentes do Córrego Cachimbo.

Parâmetros	Nascente I	Nascente II	Nascente III
Processos observados na nascente	3	1	1
Processos observados na APP	3	1	1
Cor na água	1	1	1
Turbidez	1	3	1
Odor	3	1	1
Resíduos sólidos dentro da nascente	3	3	3
Resíduos sólidos na APP da nascente	3	3	3
Materiais flutuantes	3	1	3
Óleos e graxas	1	1	1
Esgoto na APP	3	1	3
Esgoto na Nascente	3	1	3

Eutrofização	3	1	1
Vegetação	2	1	2
Sinais de acesso de animais à nascente	3	3	3
Sinais de acesso de animais à APP	3	3	3
Uso por humanos	1	1	3
Acesso à nascente por humanos	3	3	3
Proximidade com residências e/ou criatórios	3	3	3
Equipamentos de infraestrutura	3	3	3
APP (raio de 50 metros a partir da nascente)	3	3	3
IQAN	51	38	45

Fonte: Autoria própria (2022).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através deste trabalho identificou-se a existência de três nascentes que dão origem ao curso hídrico do Córrego Cachimbo no município de Palmas - TO. A Nascente I é uma nascente perene cujo afloramento persiste mesmo durante o período seco. As Nascente II e III são nascentes intermitentes que apresentam afloramento apenas durante o período úmido.

A Nascente I foi classificada como “Degradada”. Nenhuma nascente pode ser classificada como “Preservada”. Dentre os impactos ambientais identificados a partir a aplicação da Avaliação Macroscópica de Impactos Ambientais em Nascentes alguns são comuns as três nascentes vistoriadas: A presença de resíduos sólidos urbanos nas nascentes e na APP; A facilidade de acesso de humanos a nascente; A existência de residências e equipamentos de infraestrutura dentro da APP e impactos ambientais na APP da nascente.

As Nascentes II e III do Córrego Cachimbo foram classificadas através do Índice de Qualidade Ambiental das Nascentes como “Moderadamente preservadas”. Porém a Nascente III encontra-se no limite superior do IQAN em uma situação sensível podendo evoluir para uma classificação como nascente “Degradada”.

A AMIAN demonstrou-se uma metodologia de fácil aplicação e muito útil no trabalho de campo ao identificar a orientar o pesquisador sobre os parâmetros a serem observados no trabalho de identificação de impactos ambientais em nascentes. Esta metodologia pode ser replicada pela administração municipal como uma ferramenta importante para monitoramento qualitativo contínuo do grau de conservação das nascentes.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428,

de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, 28 Mai. 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm>. Acessado em: Out. 2022.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama das Cidades: 2021**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/to/palmas/panorama>>. Acesso em: Out. 2022.

FELIPPE, M. F. **Gênese e dinâmica de nascentes: Contribuições a partir da investigação hidrogeomorfológica em região tropical**. 2013. 254 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1843/IGCC-9GQJDJ>>. Acessado em: Out. 2022.

FELIPPE, M. F. **Caracterização e tipologia de nascentes em Unidades de Conservação de Belo Horizonte-MG com base em variáveis geomorfológicas, hidrológicas e ambientais**. 2009. 277 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1843/MPBB-83CPWN>>. Acessado em: Out. 2022

GIL, A. C. **Métodos e técnicas e pesquisa social**. São Paulo. Editora Atlas, 1999.

GOMES, E. R. **Diagnóstico e avaliação ambiental das nascentes da Serra dos Matões, município de Pedro II, Piauí**. 2015. 209 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, 2015. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/139401>>. Acessado em: Out. 2022.

GOMES, P. M.; MELO, C.; VALE, V. S. **Sociedade e Natureza**. Uberlândia, v. 17, n 32, jun. 2005. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/9169>>. Acessado em: Out. 2022.

KIMURA, M. **Recuperação de uma área de preservação permanente no município de Maringá - PR: nascente do Ribeirão Maringá**. 2014. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em:<<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/22731>>. Acessado em: Out. 2022.

LEAL, M. S. *et al.* **Ambiente e Água**, Taubaté. v. 12, n. 1, fev. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1909>>. Acessado em: Out. 2022.

MARCUZZO, F. F. N.; GOULARTE, E. R. P. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 6, n. 1, jul. 2013. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/232828>>. Acessado em: Out. 2022.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. **Revista de Saúde Pública**, v. 36, n. 3, p. 370-374, jun. 2002. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0034-89102002000300018>>. Acessado em: Out. 2022.

PARANHOS, F. R. S. **Proposta de recuperação e manejo de nascente em área rural do município de Álvares Machado – SP**. 2012. 78 f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Ambiental) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/120404>>. Acessado em: Out. 2022

PINTO, L. V. A. *et al.* **Scientia Forestalis**, n. 65, p. 197- 206. jun. 2004. Disponível em: <<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br:80/handle/123456789/17277>>. Acessado em: Out. 2022.

TOCANTINS. Secretaria de Planejamento e Orçamento. **Geoportal Seplan**. 2012. Disponível em: <<https://geoportal.to.gov.br/gvsigonline/>>. Acessado em Out. 2022.

SOUZA, S. R. **A proteção das nascentes em áreas urbanas consolidadas: dispensável ou necessária missão?**. 2018. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade na Gestão Ambiental) – Universidade Federal de São Carlos. Disponível em: <<https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/9377>>. Acessado em: Out. 2022.

SOUZA, K. I. S. *et al.* **Águas Subterrâneas**, v. 33, n. 1, p. 76–86, jun. 2019. Disponível em:<<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/29254>>. Acessado em: Out. 2022.

VIANA, V. B.; COSTA, C.T. F. **Revista NAU Social**, v.6, n.10, p. 23-33, mai. 2015. Disponível em: <<https://periodicos.ufba.br/index.php/nausocial/article/view/31303>>. Acessado em: Out. 2022.

CAPÍTULO 7

ENERGIA SOLAR: VIABILIDADE ECONÔMICA E SUSTENTABILIDADE NO CONTEXTO DAS CIDADES INTELIGENTES

Rosângela Leal Santos
Kelly Cristina Ribeiro Marques Cardoso

RESUMO

Este trabalho caracteriza a energia solar e discute os impactos da utilização dessa fonte de energia limpa, em seus aspectos econômicos e de sustentabilidade, bem como os benefícios advindos da utilização da energia solar, sobretudo numa época de aumento da demanda de energia associada à crise hídrica. Para tanto, são destacadas a produção energética mundial e local, os sistemas de aproveitamento fotovoltaico e fototérmico, correlacionando com o atendimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS e a efetividade do uso da energia solar no contexto das cidades inteligentes.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Solar. Sustentabilidade. Viabilidade Econômica. Cidades Inteligentes.

1. INTRODUÇÃO

A busca da sociedade por fontes renováveis de energia, associado à redução de gastos nesta área, tem ganhado força na atualidade tendo em vista diversos fatores, como a escassez de água decorrente da falta de chuva nos reservatórios e a progressiva alta dos custos com energia elétrica, além da necessidade do uso dos recursos naturais de forma sustentável. Dessa forma, apresenta-se a energia solar como uma proposta de utilização, buscando a promoção da sustentabilidade e a redução de gastos. Então, este trabalho se propõe a discutir os impactos ambientais e econômicos da utilização deste recurso na geração de energia.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Energia solar

A necessidade do uso de energias renováveis e limpas tem se intensificado na atualidade e muito se tem discutido sobre a temática, em nível local e internacional, por se considerar a escassez dos recursos necessários para a geração de energia elétrica, como por exemplo, a falta de chuva nos reservatórios, além do aumento do consumo pela população. Então, a busca por energia que não dependa dos recursos naturais escassos e caros como água, carvão e gás natural tem sido uma constante e, dentre as alternativas, tem-se a energia solar, como uma das fontes de energia limpa.

Sabe-se que a energia, que pode ser entendida de várias formas em áreas diversas, sempre foi um item imprescindível ao desenvolvimento econômico e social da humanidade. Não dá para vislumbrar a vida humana sem o consumo de energia. Para Furtado (2004, p. 54), *apud* Militão e Guedes (2002):

Desde a primeira revolução industrial, quando o carvão mineral substituiu a lenha como fonte dominante, as energias fósseis se tornaram vetores centrais do industrialismo, tanto como combustível das máquinas a vapor, assim como insumo central para a fabricação de ferro. A energia das máquinas foi gradativamente substituindo o trabalho humano, dos animais e daquele obtido a partir de energias renováveis como a biomassa e a eólica (FURTADO 2004, p. 54, *apud* MILITÃO; GUEDES, 2008).

Para Borges e Zouain (2011), a energia é classificada como um bem de natureza estratégica, já que se relaciona com questões nos níveis ambientais, econômicos, sociais e tecnológicos. Sabe-se que as formas de produção de energia ou fontes energéticas são as seguintes: fósseis (carvão, petróleo e gás natural), biomassa (lenha e álcool), limpas permanentes (solar, eólica, geotérmica e mareomotriz), hidráulicas e nucleares.

Essas diversas fontes geradoras de energia que compõem as matrizes energéticas podem causar, em graus distintos, impactos significativos ao meio ambiente como na questão do lançamento de gases na atmosfera que provocam o chamado efeito estufa e colaboram para o aquecimento global (BORGES; ZOUAIN, 2011).

Em relação à matriz energética mundial, é urgente a necessidade do aumento da participação das chamadas energias renováveis, sobretudo devido a crise hídrica, a consciência ambiental e a escassez de combustíveis fósseis. O Brasil, segundo Galdino *et al.* (2000), apresenta um potencial expressivo para ampliar sua produção de energias renováveis. Isso se deve a diversos fatores, destacando-se o fato de ter a maior parte do seu território em região tropical, com abundância do recurso solar, bem como da biomassa e condições de vento importantes em determinadas regiões do território.

2.1.1. A produção de energia solar no mundo

Com a crescente ameaça das mudanças climáticas devido à liberação excessiva de emissões de carbono, muitas nações estão buscando alternativas de energia limpa para substituir os combustíveis fósseis tradicionais.

Cerca de 11,2% da energia consumida globalmente para aquecimento, energia e transporte é produzida por fontes renováveis modernas em 2019 (biomassa, geotérmica, solar, hidrelétrica, eólica e biocombustíveis), ou seja, quase 8,7% acima do que era produzida na década anterior.

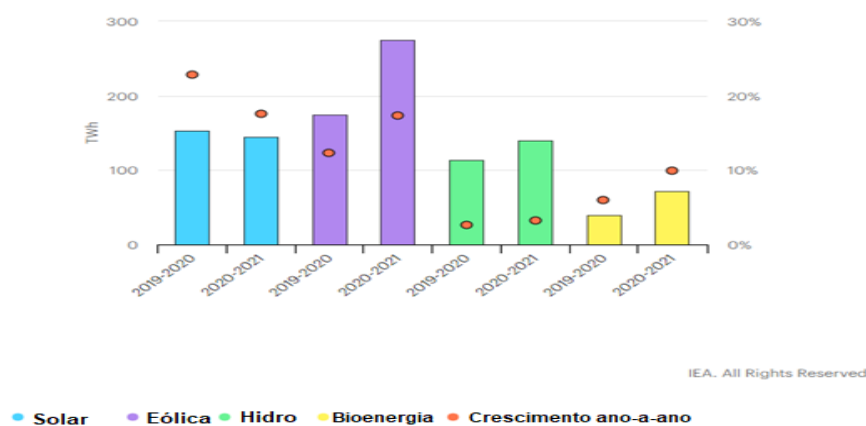
As energias renováveis representavam 29% da geração global de eletricidade até o final de 2020. Liderados pela energia eólica e solar fotovoltaica, mais de 256 GW de capacidade foram adicionados em 2020, representando um aumento de quase 10% na capacidade total instalada de energia renovável.

A Agência Internacional de Energia observa que o desenvolvimento e a implantação de tecnologias de eletricidade renovável devem continuar a ser implantados em níveis recordes, mas são necessárias políticas governamentais e apoio financeiro para incentivar implantações ainda maiores de eletricidade limpa (e infraestrutura de apoio) para dar ao mundo uma chance de atingir suas metas climáticas líquidas próximas a zero.

A geração de eletricidade renovável em 2021 expandiu em mais de 8% para atingir 8.300 TWh, o crescimento anual mais rápido desde a década de 1970. A energia solar fotovoltaica e a eólica devem contribuir com dois terços do crescimento das energias renováveis (Figura 1). A China sozinha deve responder por quase metade do aumento global de eletricidade renovável em 2021, seguida pelos Estados Unidos, União Europeia e Índia.

Figura 1: Geração de energia renovável nos biênios 2019-2020 e 2020-2021 no mundo.

Aumento da geração de energia renovável 2019-2020 e 2020-2021



Fonte: IEA (2022).

Embora a China continue sendo o maior mercado para energia fotovoltaica, gerada pela energia solar, a expansão continua nos Estados Unidos com apoio político intenso nos níveis federal e estadual. Tendo experimentado um declínio significativo nas novas adições de capacidade solar fotovoltaica em 2020, como resultado de atrasos relacionados ao Covid, espera-se que o mercado fotovoltaico da Índia se recupere rapidamente, enquanto os aumentos na geração no Brasil e no Vietnã são impulsionados por fortes apoios políticos para distribuição

e aplicações solares fotovoltaicas. Globalmente, a geração de eletricidade solar fotovoltaica deverá aumentar em 145 TWh, quase 18%, para se aproximar de 1.000 TWh, a partir de 2021.

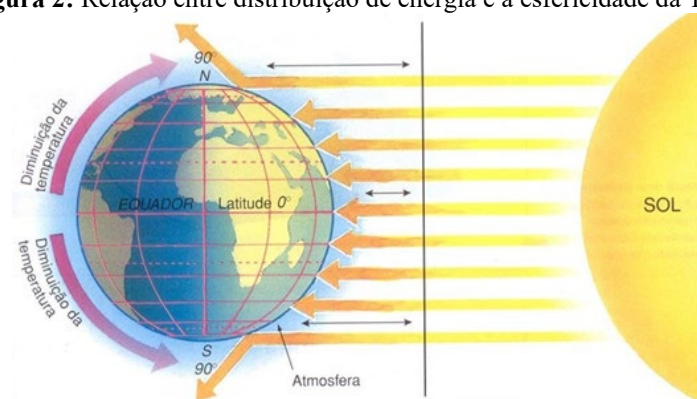
Espera-se que a geração de energia hidrelétrica aumente ainda mais por meio de uma combinação de recuperação econômica e novas adições de capacidade de grandes projetos na China. A energia de projetos de eletricidade residual na Ásia impulsionará o crescimento da bioenergia, graças a incentivos.

Os aumentos na geração de eletricidade, a partir de todas as fontes renováveis, devem elevar a participação das energias renováveis no mix de geração de eletricidade para um recorde histórico de 30% a partir de 2021.

De todas as alternativas de energia limpa, a energia solar é a mais abundante, principalmente na zona intertropical. O Sol é a fonte de energia que controla o fluxo de energia e matéria no planeta. Essa energia é emitida em forma de radiação eletromagnética a qual chega à Terra onde acaba sendo convertido em outras formas de energia como a energia química pelas plantas, cinética, na atmosfera, e em calor pela transformação das ondas curtas em ondas longas, devido a interação com a superfície terrestre (VAREJÃO-SILVA, 2006)

Entretanto, essa energia proveniente do Sol, não é distribuída igualmente sobre a Terra, provocando áreas de aquecimento diferenciado, seja em função da esfericidade da Terra, da latitude, e ao longo do ano em função da inclinação do eixo da Terra em relação ao plano da órbita (Figura 2). Essa variação se reflete diretamente na distribuição da energia com a localização pela altitude (Figura 2).

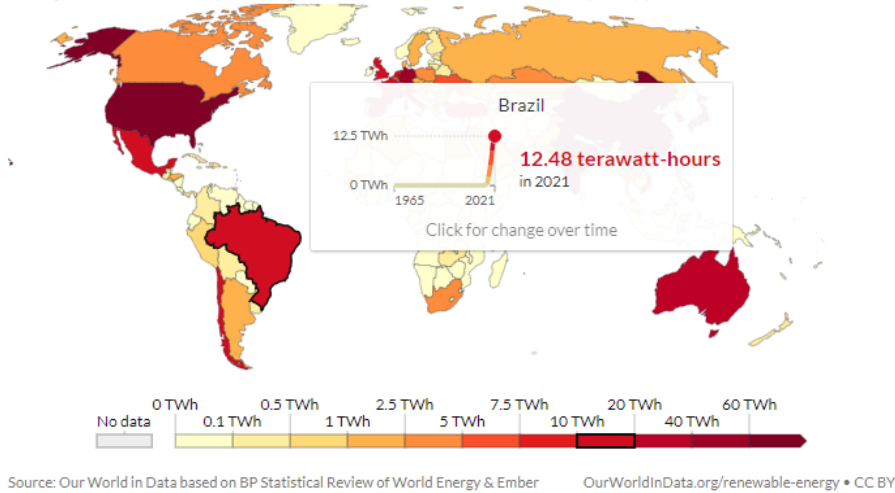
Figura 2: Relação entre distribuição de energia e a esfericidade da Terra.



Fonte: MUNDO EDUCAÇÃO (2022).

Devido à sua posição majoritariamente intertropical, o Brasil possui um enorme potencial para a geração de energia solar em grande parte do território nacional (Figura 3).

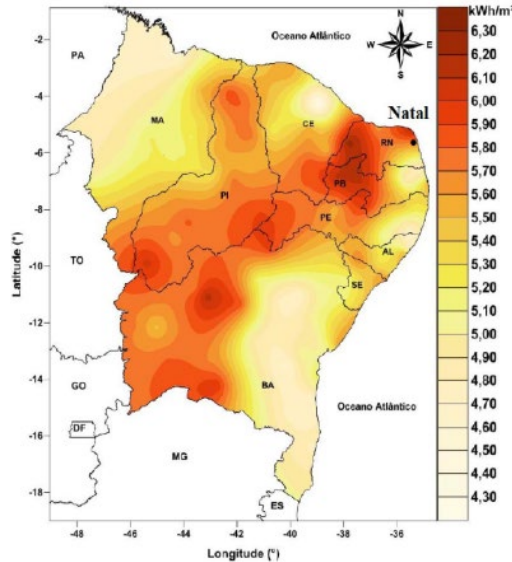
Figura 3: Geração de energia solar no mundo.
Geração de energia solar, 2021
 Geração de eletricidade por energia solar, medida em terawatt/hora (TWh) por ano



Fonte: RITCHIE, H.; ROSER, M (2021).

O Brasil possui extensas regiões semiáridas com irradiação normal direta da ordem de 6kWh/m^2 diários. O maior potencial está localizado na Bacia do Rio São Francisco e nas áreas de Sobradinho, no Nordeste. Os locais potenciais no Brasil estão próximos ao Equador e isso tem uma vantagem óptica. Imensas áreas de terra estão disponíveis para aplicações solares térmicas (Figura 4).

Figura 4: Irradiação Solar no Nordeste Brasileiro.



Fonte: MORAIS, F; MORAES, A; BARBOSA, F. (2019).

O índice de irradiação solar de cada região é medido em watt por hora por metro quadrado (Wh/m^2), unidade de medida padrão da ABNT. Para calculá-lo, é usado um instrumento chamado de piranômetro (Figura 5), que mede a radiação total que chega a determinado ponto, sendo ela direta, difusa ou refletida. Outros aparelhos também podem ser usados para medir a radiação incidente, como o pireliômetro e o heliógrafo (Figura6).

Figura 5: Piranômetro modelo **Eppley GPP** - equipamento usado para medir radiação solar.



Fonte: RECURSO SOLAR (2022).

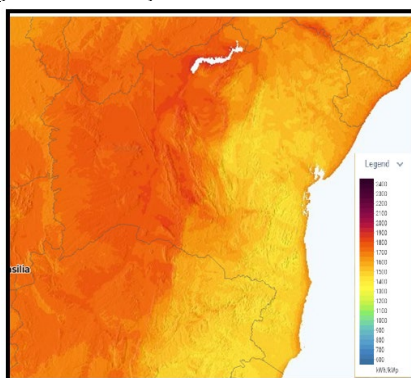
Figura 6: Heliógrafo: serve para medir insolação.



Fonte: GEOGRAFIA PB (2022).

Em relação ao estado da Bahia, na figura 7, pode-se observar a intensa concentração de radiação solar neste estado.

Figura 7: Radiação Solar no Estado da Bahia.



Fonte: Global Solar Atlas (2022).

O Estado da Bahia está localizado na região Nordeste, entre os paralelos $08^{\circ} 31' 58''S$ e $18^{\circ} 20' 55''S$ e os meridianos $46^{\circ} 37' 02''W$ e $37^{\circ} 20' 28''W$, a Bahia é o quinto maior estado brasileiro, com uma área territorial de 564.732 km^2 (Figura 8). O Estado faz limites com o Oceano Atlântico e com os estados de Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Piauí, Tocantins, Goiás, Minas Gerais e Espírito Santo.

Figura 8: Estado da Bahia.



Fonte: Imagem SRTM fusionada com Imagens LandSat (Embrapa) (2022).

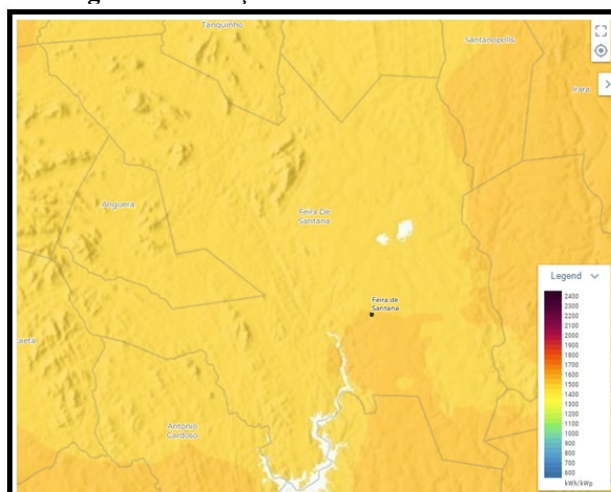
O território baiano é caracterizado por um relevo composto por planícies, planaltos e depressões em formas tabulares e planas. Na região central do Estado, formada por Serras e pela Chapada Diamantina, ocorrem as maiores elevações, chegando a marcar altitudes acima de 1.500m.

Nas áreas mais baixas, destaca-se a região do Vale do São Francisco, coberta predominantemente por cerrado, caatinga, veredas e campos úmidos. Ao longo do litoral, com 1.183 km de extensão, onde, predominam planícies com baixas altitudes, formada por remanescentes de Mata Atlântica e áreas de cultivo, comportando também os principais aglomerados urbanos no Estado.

A região oeste da Bahia possui um extenso Chapadão Ocidental a oeste da planície do São Francisco, com altitudes entre 800 e 1.000 m e coberto por extensas áreas agrícolas e vegetação natural caracterizada pelo cerrado e pela formação de veredas sobre as linhas de drenagem (Atlas).

Na figura 9, pode-se observar a distribuição da energia solar no município de Feira de Santana (BA). Observe o detalhe da área com a radiação ligeiramente mais correspondente à região central da cidade de Feira de Santana, devido à formação da ilha de calor.

Figura 9: Radiação Solar em Feira de Santana.



Fonte: Global Solar Atlas (2022).

3. METODOLOGIA

Este estudo foi realizado através de uma revisão bibliográfica, a partir de consultas a diversos trabalhos científicos sobre a temática do estudo, destacando-se os conceitos relacionados à energia solar, partindo da produção solar no mundo, suas aplicações, vantagens e desvantagens, os impactos econômicos e ambientais de seu uso, bem como sua correlação com a sustentabilidade e os parâmetros dos conceitos sobre cidades inteligentes. Foram utilizadas também diversas imagens, gráficos e tabelas para ilustrar a pesquisa bibliográfica realizada. Em relação aos resultados e discussões, foram apresentadas as diversas formas de aproveitamento da energia solar e sua relação com os objetivos de desenvolvimento sustentável, bem como os ganhos econômicos e ambientais referentes ao uso de energias limpas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Aproveitamento da energia solar

A energia solar pode ser aproveitada de duas maneiras, a fotovoltaica e a fototérmica. Para Pinho e Galdino (2014), citados por Dos Santos *et al.* (2017, p. 3), a energia fotovoltaica é obtida através da conversão direta da luz em eletricidade, utilizando um semicondutor que é a unidade de conversão deste processo. Por outro lado, a fototérmica “está diretamente ligada com a quantidade de energia que um determinado corpo é capaz de absorver, sob a forma de calor, a partir da radiação solar incidente no mesmo” (MILITÃO; GUEDES, 2008, p. 13).

Segundo Costa *et al.* (2017), a energia fotovoltaica pode ser de dois tipos, conforme figura abaixo (Figura10), *on grid*, ligado a rede da concessionária, e *off grid* que não é ligado a rede.

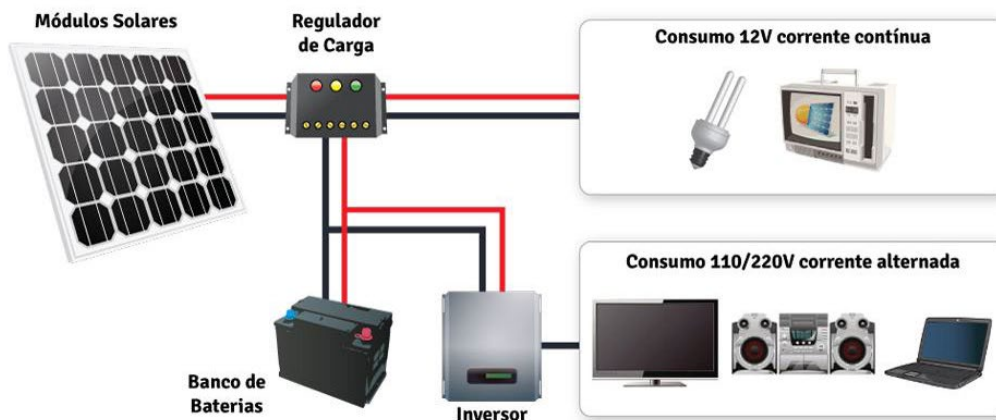
Figura 10: On Grid XOff Grid.

Sistema	Vantagens	Desvantagens
<i>Off grid</i>	Pode ser utilizado em regiões remotas	Necessita de baterias e controladores de carga
	Não tem conta de luz	Custo Elevado
	Possui sistema de armazenamento de energia	Menos eficiente
<i>On grid</i>	Dispensa a utilização de baterias e controladores de carga	Acesso à rede de energia
	Geração de créditos de energia	Não há armazenamento de energia
	Créditos usados em outros consumidores	Pagar conta de luz. no mínimo taxa de disponibilidade
	Mais eficiente	

Fonte: REAL SOLAR (2022).

Pode-se observar nas imagens a seguir, a composição e o esquema de funcionamento dos sistemas fotovoltaicos *on grid* e *off grid*:

Figura 11: Composição do Sistema Fotovoltaico.
Off Grid



Fonte: REAL SOLAR (2022).

Como se observa na figura 11, um sistema fotovoltaico é composto por um módulo ou painéis fotovoltaicos que transforma a energia solar em energia elétrica; o Regulador/Inversor um equipamento eletrônico que regula a carga da bateria com a energia oriunda dos painéis fotovoltaicos e libera energia para as cargas consumidoras; a Bateria que é o componente acumulador de energia elétrica; e o Inversor um equipamento que converte a corrente contínua gerada pelos painéis em corrente alternada necessária para alimentar os mais diversos equipamentos eletroeletrônicos (COSTA *et al.*, 2017).

Figura 12: Esquema de funcionamento Fotovoltaico “Off Grid”.

Esquema de funcionamento do sistema Fotovoltaico “Off Grid”



Fonte: NEOSOLAR (2022).

Figura 13: Esquema de funcionamento Fotovoltaico “On Grid”.



Fonte: SANTA ROSA, R (2022).

A produção de energia fotovoltaica é uma alternativa substancial para o Brasil, tendo em vista as características que ele possui, contudo o custo de implantação e a falta de incentivos pelo governo interferem de forma negativa na implantação deste recurso de energia limpa. Ressalta-se também a contribuição do uso da energia fotovoltaica para o atingimento de muitos dos objetivos de desenvolvimento sustentável.

Desta forma, destaca-se que o uso de energias limpas contribui para atingir o propósito dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável - ODS, conforme o que se estabelece sobretudo nos itens 4 – Educação de Qualidade que procura assegurar a educação inclusiva e equitativa de qualidade e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos; 7 – Energia Limpa e Acessível, que busca garantir o acesso a fontes de energia confiáveis, sustentáveis e modernas para todos, melhorando a eficiência energética; 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis, que busca tornar as cidades e comunidades mais inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis, além do 17 – Parcerias e Meios de Implementação, o qual busca reforçar os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o

desenvolvimento sustentável, através da busca de financiamentos para implementação do processo de energia solar.

Os 17 ODS foram estabelecidos em setembro de 2015, na Agenda 2030, o qual contempla 169 metas num plano de ações para as pessoas, o planeta e a prosperidade (Figura 14), sendo que os países assumiram o compromisso de transformar a realidade de pobreza extrema e de promover uma vida digna e o desenvolvimento sustentável ao longo de 15 anos.

Figura 14: Desenvolvimento Sustentável.



Fonte: Agenda 2030 (2021).

Segundo o site da Agenda 2030, os ODS, conforme imagem abaixo (Figura 15), “são integrados e indivisíveis, e mesclam, de forma equilibrada, as três dimensões do desenvolvimento sustentável: a econômica, a social e a ambiental”. Devem envolver a participação de toda a sociedade, governos, cidadãos, sociedade civil e setor privado.

Figura 15: ODS.



Fonte: Agenda 2030 (2021).

4.2. Energia solar e sua relação com as cidades inteligentes

A concepção de cidades inteligentes constitui-se numa integração de conceitos e idéias mistas, que abrangem desde tecnologia da informação e comunicação, com a adoção de políticas públicas, desenvolvimento sustentável, eficiência, e melhoria da sociedade nos

aspectos sociais e econômicos, com planos para uma vida futura melhor. Num conceito mais básico, as cidades inteligentes permitem que o setor público consiga reconhecer problemas em tempo real, para auxiliar o cidadão a produzir informações, buscando alternativas para mapear, discutir e enfrentar essas dificuldades (COHEN, 2015).

Desta forma, na atualidade, tornou-se imprescindível o desenvolvimento de cidades inteligentes, a fim de criar condições de vida sustentáveis através do uso da tecnologia diante das tendências de melhoria da qualidade de vida e da urbanização das cidades. Diversos são os meios de se tentar conceituar ou caracterizar o que se chama de cidades inteligentes.

Destaca-se o conceito de Batty *et al.* (2012) citados por Depiné e Teixeira (2018, p. 33) ao dizerem que “uma cidade inteligente é a cidade em que a tecnologia e a inovação são mescladas de forma coordenada e integrada à infraestrutura urbana tradicional”.

Depiné e Teixeira (2018, p. 34) também citam Gifinger e Gudrun (2010) ao relatarem que cidades inteligentes são as que realizam sua visão de futuro combinando diferentes atores do espaço urbano, quais sejam “a economia, pessoas, governança, mobilidade, meio ambiente e qualidade de vida”. Logo, entende-se que uma cidade inteligente precisa gerar melhoria de vida para as pessoas, mas sem perder a relação custo-benefício que deve existir em qualquer implantação de tecnologias.

No contexto das cidades inteligentes, os aspectos mais trabalhados contemplam questões ambientais (produção de energia, gestão de resíduos e etc.), comunicação entre os diferentes usuários (empresas, coletivos, instituições e indivíduos), utilização das TICs para melhorar o funcionamento operacional de rede, aspectos sociais (cuidados de saúde, educação e serviços culturais disponíveis) e eficiência urbana. (DEPINÉ *et al.*, 2018)

As cidades inteligentes se baseiam em quatro pilares: conectividade, mobilidade, segurança e sustentabilidade (DATALAD, 2020). Isso se torna fundamental quando, em 2019, a Organização Mundial das Nações Unidas, publicou que metade da população mundial vive em cidades, ao mesmo tempo em que a expectativa é que, em 2050, essa proporção seja de 70%, então há que se buscar alternativas para prover bem-estar e qualidade de vida a essa população. Para isso, é necessário um enorme gasto de energia, e, por princípio, a produção da mesma deve ser abundante, barata e ecologicamente sustentável.

4.3. Impactos econômicos e ambientais

Segundo Feil e Schreiber (2017, p. 668), não há um consenso no conceito dos termos ‘desenvolvimento sustentável’, ‘sustentabilidade’ e ‘sustentável’, contudo, há uma concordância na literatura de que, independente do conceito, o que se busca é o equilíbrio entre as necessidades do ser humano e o meio ambiente, visando o bem estar humano em longo prazo, por meio da gestão do sistema ambiental.

Horbach (2005) e Dempsey *et al.* (2011), citados por Feil e Schreiber (2017, p. 674), “destacam que a sustentabilidade é a reunião de três tipos de interesses simultâneos e em equilíbrio: compreendendo o aspecto ambiental, econômico e social”. Dessa forma, o uso da energia solar se relaciona a sustentabilidade por envolver sobretudo os aspectos ambiental e econômico.

Udaeta (1997) considera que os seguintes benefícios podem ser identificados ao se determinar uma política energética que se baseia na sustentabilidade: Garantia de suprimento, através da diversificação das fontes, novas tecnologias e descentralização da produção de energia; uso, adaptação e desenvolvimento racional de recursos; custo mínimo da energia; valor agregado a partir dos usos, gerados pela e na otimização dos recursos; custos reais na energia, contemplando impactos ambientais e sociais, devido a represamento, extração, produção, transmissão e distribuição, armazenamento, e uso das energias negociadas no mercado, inclusive definindo métodos específicos de internalização.

Por outro lado, ao tratar dos impactos ambientais, Inatomi e Udaeta (2022, p. 4) retratam que “ao mesmo tempo em que o homem precisa de energia elétrica para seu desenvolvimento, ele precisa encontrar formas para que essa geração não degrade o meio ambiente, que é o grande gerador dos recursos naturais e de importância vital”.

Em relação à exploração desenfreada de recursos naturais, os impactos ambientais são significativos e podem gerar, dentre outros aspectos, efeitos locais (poluição urbana do ar) regionais (chuva ácida) e globais (efeito estufa, desmatamento, degradação costeira e marinha) (GOLDEMBERG, 2003).

Por outro lado, em relação aos aspectos econômicos, ressalta-se que o uso de energias limpas, como é o caso da energia solar aqui retratada, proporciona autonomia energética das entidades, com gastos reduzidos em médio prazo, a partir da diluição do investimento realizado para implantação.

Santos e Cesar (2021, p. 19) afirmam que com relação à eficiência e à otimização dos custos, os avanços são percebidos no decorrer dos anos e esse tipo de energia pode ter um potencial e eficiência ampliados, acompanhados de um custo reduzido do módulo e instalação, em decorrência de uma maior variedade de tipos/formatos de módulos, materiais para as células, tamanho dos locais de instalação, maior concorrência entre os produtores, etc.

Assim, as cidades inteligentes visam o uso de tecnologias com eficiência e bons resultados, com produção de energias limpas, sustentáveis e também viáveis economicamente.

A energia solar com seu médio custo de implantação e baixo custo de manutenção se destaca pela sustentabilidade e praticidade, além de ser uma forma de energia limpa. Então, o uso de energia fotovoltaica pode ser considerado a melhor alternativa para as cidades que aspiram à valorização econômica de uma cidade inteligente (SOLSTAR, 2021).

Em sendo assim, os conceitos de cidades inteligentes se adéquam a produção de energia solar, a qual é a fonte de energia renovável mais desenvolvida, rápida e fácil de implementar.

Dessa forma, a utilização de energia limpa, conforme evidenciada e defendida neste contexto, associa-se a questões ambientais, apoiando-se na sustentabilidade, reduzindo os efeitos adversos ao meio ambiente do uso de energia elétrica, então, além desta prática de sustentabilidade, pode-se destacar como benefícios e como fator de correlação com o conceito de cidades inteligentes, o uso de um suporte de tecnologias que auxiliem na gestão energética, como os medidores inteligentes de consumo de energia, o *smart meter*.

Segundo Costa *et al.* (2017, p. 181), esse medidor pode também ser utilizado pela concessionária para acessar e gerenciar o uso da energia, pois pode ser utilizado como um roteador enviando as informações necessárias e gerando um feedback para o usuário, “o que possibilita o ajuste dos hábitos de consumo individualizado de acordo com os valores que deseja pagar em suas tarifas.”

5. CONCLUSÃO

O fortalecimento da matriz energética brasileira a partir de fontes renováveis é crescente e se consolida a cada dia. O fator econômico se mostra como principal indutor para o uso dessa fonte de energia, no entanto, a aplicação de políticas de sustentabilidade e preservação ambiental tem papel determinante no desenvolvimento de parques geradores de energia, ampliação da indústria de equipamentos e subsídios para aquisição de componentes dos sistemas fotovoltaicos.

Considerando todo cenário econômico nacional e sua sensibilidade às variáveis globais, o uso de fontes renováveis de energia deveria se tornar uma diretriz básica para toda a sociedade, diante dos impactos significativos e benéficos da utilização da energia limpa, com destaque, neste contexto, para a energia solar, sobretudo nos aspectos econômicos e ambientais, visto que o custo-benefício é relevante.

Destaca-se que o custo de implantação é diluído rapidamente em curto prazo, o custo de manutenção é baixo e a redução dos efeitos nocivos ao ambiente é substancial. Desta forma, é preciso incentivar o uso de fontes de energias limpas e, neste aspecto, a gestão pública deve criar mecanismos que facilitem o acesso da população, através de financiamentos com taxas reduzidas para esta área.

REFERÊNCIAS

AGENDA 2030. **ODS**. Disponível em: <<http://www.agenda2030.com.br/sobre/>>. Acessado em: Out, 2021.

BARRY, R.G.; CHORLEY, R. J.. **Atmosfera, Tempo e Clima**. São Paulo: Bookman, 2012.

BORGES, F. Q.; ZOUAIN, D.M. **A matriz elétrica no estado do Pará e seu posicionamento na promoção do desenvolvimento sustentável**. 2011. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/A-Matriz-El%C3%A9trica-no-Estado-do-Par%C3%A1-e-seu-na-do-Borges-Zouain/cb0ea49f60978182475645b48ae2986852a688ad>>. Acessado em : Set, 2021.

CAMARGO, S. E. **Atlas Solar da Bahia**. Curitiba, CIMATEC/ SENAI, 2018. Disponível em :< <atlas-solar-Bahia.indb> (seplan.ba.gov.br)> .Acessado em : Out, 2022.

CAVALCANTE, L. O. H.; MILITÃO, M. S. R. (org.) **A questão ambiental da UEFS – Histórias e Perspectivas**. Feira de Santana : UEFS, 2008.

COHEN, B. **The 3 Generations of Smart Cities**. FastCompany (em inglês) .2015. <<https://www.fastcompany.com/3047795/the-3-generations-of-smart-cities>> Acessado em : Out, 2021.

CARVALHO, Z. V. de. **Estratégia de Conversão do Potencial Energético Solar Natalense em Gatilho de Construção das Cidades Inteligentes**. ISSN: 2318-3403 Aracaju/SE – 20 a 22/09/ 2017. Vol. 8/n.1/ p. 180-189. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/a961/8ed7c97367525eaa0ec475552a00eff3696e.pdf>> Acessado em : Out, 2021.

DEPINÉ, Á. : TEIXEIRA, C. S. (org). **Habitats de inovação: conceito e prática**. São Paulo: Perse, 2018.

DOS SANTOS, E. R. C. G.; NASCIMENTO, G. F.; XAVIER, V. L.de C.; COSTA, J. F. da. **Energia Solar Fotovoltaica: Um estudo de caso da aplicação no sistema de iluminação em uma**

instituição de ensino profissionalizante. **Revista GEINTEC**. ISSN: 2237-0722. Aracaju/ SE. Vol7, n.2, p. 3859-3875, abr/maio/jun -2017.

EMBRAPA. **Imagem SRTM fusionada com Imagens LandSat** (Embrapa). 2022

FURTADO, A.T. **Energia, Economia e Mercado**. ComCiência, 2004.Em: http://www.comciencia.br/reportagens/2004/12/16_impr.shtml. Acessado em: Ago, 2022.

FEIL, A. A.; SCHREIBER, D. **Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados**. Cad. EBAPE.BR, v. 14, nº 3, Artigo 7, Rio de Janeiro, Jul./Set. 2017. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/cebape/v15n3/1679-3951-cebape-15-03-00667.pdf>> Acessado em: Ago, 2021

GALDINO, M.A. E.; LIMA, J. H. G.; RIBEIRO, C.M. ; SERRA, E. T. **O contexto das energias renováveis no Brasil**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2000. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/direng.pdf>>. Acessado em: Out,2021

GEOGRAFIA PB. **Heliógrafo**. 2020. Disponível em: <https://www.facebook.com/GeografiaPB/Estacao-climatologica>. Acessado em: Set, 2022.

GLOBAL SOLAR ATLAS. **Radiação Solar no Estado da Bahia e em Feira de Santana**. Salvador: Senai Cimatec, 2018. Disponível em: <<https://globalsolaratlas.info/download/brazil>> Acessado em: Set, 2022

GOLDEMBERG, J; VILLANUEVA, L. D. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. São Paulo: Edusp, 2003.

INATOMI, T. A.H.; UDAETA, M.E. M.. **Análise dos Impactos Ambientais na Produção de Energia dentro do Planejamento Integrado de Recursos**. LATIN AMERICA TRANSACTIONS, VOL. 17, NO. 10, OCTOBER 2019, pag. 1706-1714

LEMOS, A. **Cidades inteligentes**. Rio de Janeiro, v.12,n.2, jul.dez.2013. Disponível em : < Cidades inteligentes | GV-EXECUTIVO (fgv.br)> Acessado em : Out,2021.

MENDONÇA, F. **Climatologia: Noções Básicas e Climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MORAIS, F; MORAES, A; BARBOSA, F .**Technical-Economic Analysis of the First Mini-Generation Photovoltaic System of Piauí**. Brazil : IEEE,2019.

MUNDO EDUCAÇÃO. **Movimentos da Terra**. UOL, 2022. Disponível em: <mundoeducacao.uol.com.br/geografia/movimentos-terra.htm >Acessado em: Set, 2022.

NEOSOLAR. **Sistemas de energia solar fotovoltaica e seus componentes** : Esquema de funcionamento do sistema Fotovoltaico “Off Grid”. São Paulo, 2021. Disponível em : <<https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>> Acessado em : Set, 2022.

PERIS-ORTIZ, M.; BENNETT, D.R.; YÁBAR, D.P. **Bustamante Sustainable Smart Cities: Creating Spaces for Technological, Social and Business Development**. Londres: Springer, 2017.

REAL SOLAR. **Composição do Sistema Fotovoltaico**. 2021. Disponível em : < realsolarbrasil.com.br > Acessado em: Set, 2022.

RECURSO SOLAR. **Piranômetro modelo**. Disponível em; <http://recursosolar.geodesign.com.br/Pages/Pyranometer_RS> Acessado em : Set, 2022.

RITCHIE, H.;ROSER, M. **Energia : Geração de Energia Solar**. 2021. Disponível em: <ourworldindata.org/energy>. Acessado Set.2021.

SANTA ROSA, R. **Esquema de funcionamento Fotovoltaico “On Grid”**. Espírito Santo, 2017. Disponível em: <<http://www.csenergiasolar.com.br/blog/sistema-fotovoltaico-conectado-a-rede---sfc-r-on-grid>>. Acessado em: Set, 2022.

SANTOS, A. de A.;CESAR, F. G. **O impacto econômico do uso da energia solar**. In : IV SENGI – Simpósio de Engenharia, gestão e inovação. 2021, Juazeiro do Norte, CE. Página 1-19. Disponível em : <https://www.researchgate.net/profile/Francisco-Cesar/publication/353083386_O_impacto_economico_do_uso_da_energia_solar/links/61d2e0b2b8305f7c4b1ce910/O-impacto-economico-do-uso-da-energia-solar.pdf> . Acessado em : Set, 2022.

SOLSTAR. **A Importância da Energia Solar em Cidades Inteligentes**. 2021. <<https://solstar.com.br/2021/05/28/a-importancia-da-energia-solar-em-cidades-inteligentes>>. Acessado em : Out, 2021.

STRAHLER, A. **PhysicalGeography**. Londres : Wiley, 1996

UDAETA, M.E.M. **Planejamento Integrado de Recursos Energéticos para o Setor Elétrico -PIR- para o setor elétrico** (pensando o desenvolvimento sustentável). 1997. Tese de Dissertação. EPUSP, USP, São Paulo, 1997. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-09082001-113018/>>. Acessado em: Out, 2022.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife : Versão Digital, 2006.

CAPÍTULO 8

EXTRAÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E TRANSESTERIFICAÇÃO DO ÓLEO DA PALMEIRA IMPERIAL (*Roystonea oleracea*)

Daniel Seidel Coitinho da Silva
Samuel José Santos
Luiz Antonio Mazzini Fontoura

RESUMO

Os combustíveis fósseis são as principais fontes de energia no mundo. O petróleo, o carvão mineral e o gás natural representam a maior parte da energia consumida mundialmente. Por razões ambientais, econômicas e geopolíticas, há a necessidade da substituição dos combustíveis fósseis por fontes energéticas mais limpas. Dentro deste cenário, o biodiesel é uma alternativa já consolidada como biocombustível para motores com ignição por compressão. Atualmente, o óleo de soja é a matéria-prima mais utilizada para produção do biodiesel nas Américas, incluindo o Brasil. Como seu preço é regulado pelo mercado internacional, a busca por matérias primas alternativas pode aumentar a competitividade da cadeia produtiva do biodiesel e uma possibilidade é a utilização de gorduras de palmáceas como fonte graxa. A palmeira imperial é uma espécie exótica amplamente distribuída no território brasileiro usada, principalmente, em ornamentação. Suas sementes contêm óleo e seu potencial e valor econômico não têm sido explorados. Neste trabalho o óleo da semente da palmeira imperial foi extraído com heptano e caracterizado. As sementes forneceram o óleo com 14 % de rendimento e com as seguintes características: massa específica a 20 °C, 0,894 g mL⁻¹; viscosidade cinemática a 40 °C, 20 mm² s⁻¹; ponto de fluidez, 6 °C; índice de acidez, mg de KOH g⁻¹ de óleo. O biodiesel foi obtido a partir do óleo por transesterificação metílica na presença de gliceroxido de sódio (razão molar metano/TG 12:1, quantidade de catalisador 2 % m/m com relação ao TG, 70 °C em 1 h). O teor de ésteres graxos foi estimado em 94,5 % por RMN de Hidrogênio e a composição foi determinada por CG-DIC (34,8 % C12:0; 16,8 % C14:0; 8,3 % C16:0; 32,8 % C18:1 e 2,3 % C18:2).

PALAVRAS-CHAVE: Biodiesel. Palmeira imperial. Transesterificação.

1. INTRODUÇÃO

O biodiesel (BD) é um biocombustível empregado em motores de combustão interna com ignição por compressão, substituindo total ou parcialmente o diesel de petróleo. Obtido por transesterificação de óleos e gorduras, estruturalmente, é constituído por uma mistura de ésteres graxos. Industrialmente, o metanol é o álcool mais empregado na alcoólise em razão da sua maior reatividade e menor custo, frente ao etanol. Comparado ao diesel, possui as vantagens de ser livre de compostos policíclicos aromáticos e de enxofre, e por ser biodegradável e derivado de fontes renováveis. Com relação às suas propriedades, apresenta índice de cetano e lubricidade maiores que o diesel, o que garante um melhor desempenho do motor. Além disso, seu ponto de fulgor é mais alto, o que reduz riscos de explosões e incêndios (KNOTHE; RAZON, 2017; RAMOS *et al.*, 2017; REZENDE *et al.*, 2021).

No Brasil, a adição do biodiesel no diesel comercializado tornou-se obrigatória em 2008 em um teor de 2 %, o chamado B2. Com o tempo, o teor foi crescendo até alcançar 13 % (B13). No país, em 2022, o óleo de soja e o sebo bovino foram as fontes graxas mais empregadas,

representando 68 e 8 % de toda matéria-prima consumida na produção do biodiesel respectivamente. Outras matérias primas empregadas foram as gorduras de dendê, frango e porco e os óleos de algodão e milho, todas, porém, com menor importância (PAINEL DINÂMICO ANP, 2021).

Gorduras de coco, babaçu e palmiste possuem características que as tornam diferentes das de origem animal como a banha suína e o sebo bovino, e também do azeite de dendê. Por serem formadas majoritariamente por triglicerídeos com grupos acilas de cadeias mais curtas, por exemplo, os biodieseis que delas derivam apresentam uma menor tendência à cristalização. Embora o óleo de palma (dendê) seja a fonte graxa mais utilizada no mundo, na produção de biodiesel, derivados de outras palmáceas têm sido relativamente pouco estudados. Além do palmiste e do babaçu (BRAUN *et al.*, 2020), há alguns poucos estudos relatados na literatura com óleos de macaúba (SOUZA; ANSOLIN; TUBINO, 2018), butiá capitata (VIEIRA *et al.*, 2016), butiá da serra e jerivá (SANTOS *et al.*, 2020).

A palmeira imperial (*Roystonea oleracea*) é uma espécie exótica no Brasil e amplamente utilizada com papel ornamental, contudo, seus frutos e sementes não são aproveitados e tornam-se resíduos urbanos.

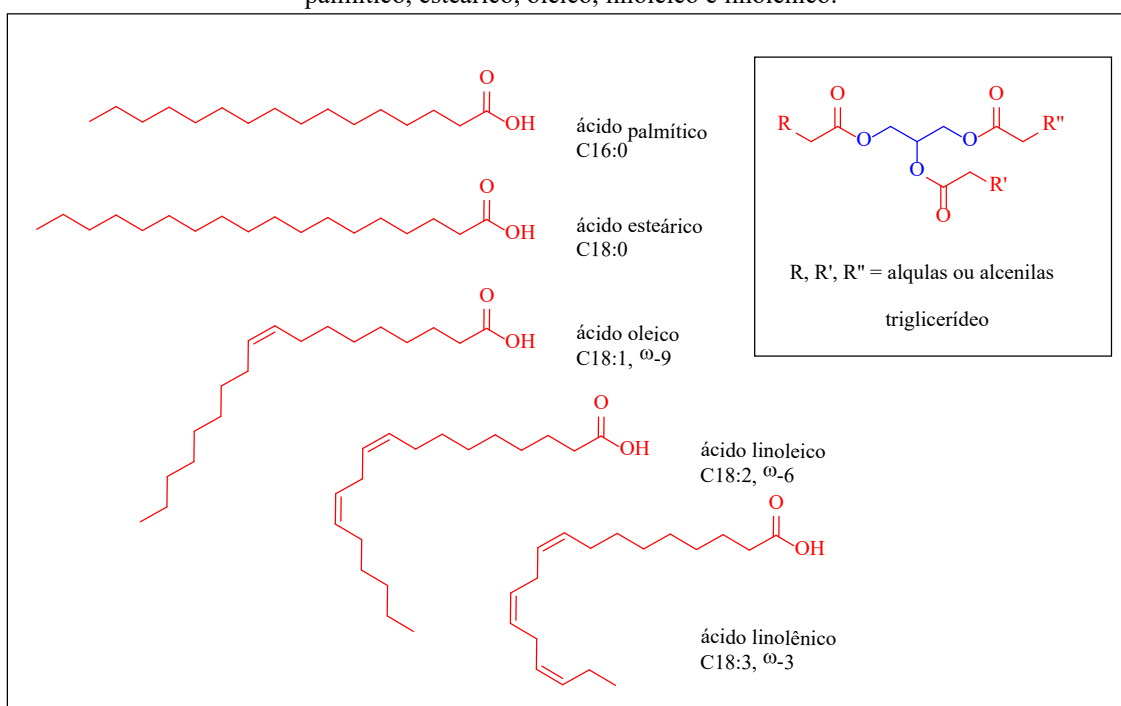
Com o objetivo de explorar o potencial uso de palmáceas como matérias-primas para obtenção de biocombustíveis, o presente trabalho teve por objetivo a extração e a caracterização dos óleos das sementes da palmeira imperial, e a avaliação do seu potencial como matéria-prima para a obtenção de biodiesel.

2. PARTE TEÓRICA

Óleos e gorduras são constituídos majoritariamente por triglicerídeos (TG), substâncias insolúveis em água, pertencentes à classe química dos lipídios, sendo os mais amplamente distribuídos na natureza. Estruturalmente, os triglicerídeos ou triacilgliceróis, são ésteres do glicerol com ácidos graxos. Em menor proporção, os óleos e as gorduras também contêm monoglicerídeos, diglicerídeos, fosfolipídeos, tocoferóis, proteínas, vitaminas e esteróis. Além de associados ao glicerol, os ácidos graxos são encontrados nas fontes graxas, também na forma livre, embora a ocorrência seja menos frequente. Devido à biossíntese, apresentam características bem peculiares, com cadeias, em geral, contendo um número par de átomos de carbono e variando de quatro a trinta, sendo os mais comuns com dezesseis e dezoito. As cadeias podem ser saturadas ou insaturadas. Triglicerídeos ricos em ácidos graxos saturados são sólidos à temperatura ambiente. Por outro lado, se constituídos de um maior percentual por

ácidos graxos insaturados, são líquidos. Quando insaturados, a cadeia pode apresentar uma a três ligações duplas, geralmente com geometria *cis*. Quatro ou mais insaturações são menos frequentes (FERREIRA *et al.*, 2022; RAMALHO; SUAREZ, 2013; VIANNI; BRAZ-FILHO, 1996). A Figura 1 apresenta as estruturas dos triglicerídeos e dos principais ácidos graxos que estão presentes na maioria dos óleos e gorduras.

Figura 1: Estrutura de um triglicerídeo e dos principais ácidos graxos presentes em óleos e gorduras: ácidos palmítico, esteárico, oleico, linoleico e linolênico.



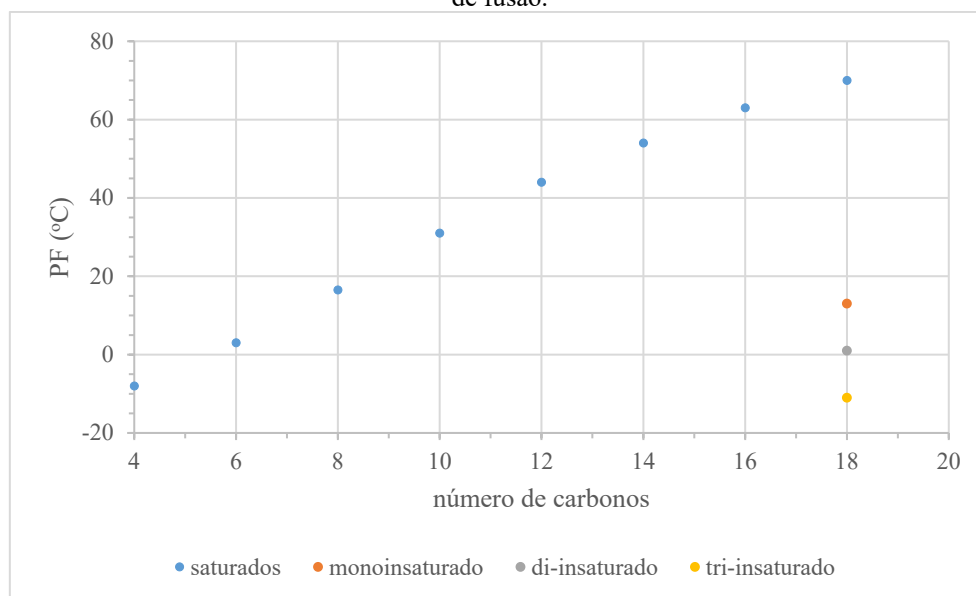
Fonte: Autoria própria (2022).

Os ácidos graxos são comumente representados pela notação CX:Y, onde X significa o número de carbonos e Y representa o número de insaturações presentes na cadeia do ácido graxo. A posição da dupla ligação mais distante da carbonila, por sua vez, é designada como ω -Z. Nesta representação, o símbolo ômega, a última letra do alfabeto grego, indica o carbono mais afastado da carbonila, e o algarismo Z, o primeiro átomo de carbono insaturado contando-se a partir de ω (FERREIRA *et al.*, 2022; RAMALHO; SUAREZ, 2013; VIANNI; BRAZ-FILHO, 1996).

As características estruturais dos ácidos graxos influenciam suas propriedades físicas como ponto de fusão, viscosidade e massa específica. A Figura 2 apresenta o efeito do tamanho da cadeia dos ácidos graxos e da presença de ligações insaturadas nos seus pontos de fusão (VIANNI; BRAZ-FILHO, 1996). O ponto de fusão aumenta de forma quase linear com o aumento do tamanho da cadeia, o que é atribuído às Forças de Van der Waals, mais intensas nas cadeias mais longas. A presença das ligações duplas com geometria *cis*, por sua vez,

reduzem o ponto de fusão. O formato angular da cadeia, neste caso, dificulta a organização das moléculas e a formação de um arranjo cristalino.

Figura 2: Efeito do tamanho da cadeia dos ácidos graxos e da presença de ligações insaturadas nos seus pontos de fusão.



Fonte: A autoria própria (2022).

Nos triglicerídeos, os ácidos graxos são encontrados em diferentes teores e arranjos. A Tabela 1 apresenta as composições de distintas fontes graxas.

O sebo bovino, a banha suína e a gordura da palma (polpa) apresentam teores de ácidos graxos saturados (AGS) de 46, 45 e 34 % respectivamente. Nos óleos, por outro lado, o teor de saturados não ultrapassa 23 %. O óleo de canola diferencia-se dos demais quanto ao alto percentual de monoinsaturados. As gorduras de caroços são ricas em cadeias curtas e médias, 60 % ou mais, e pobres nas insaturadas, as quais não alcançam 5 %.

Tabela 1: Composição de óleos e gorduras de diferentes fontes graxas.

	uva (DE OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2013)	soja (DE OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2013)	milho (DE OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2013)	canola (DE OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2013)	macaúba (polpa) (MICHELIN <i>et al.</i> , 2015)	palma (polpa) (DE OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2013)	sebo (BRAUN <i>et al.</i> , 2020)	Banha (BRAUN <i>et al.</i> , 2020)	macaúba (caroço) (SOUZA; ANSOLIN; TUBINO, 2018)	butiá (caroço) (VIEIRA <i>et al.</i> , 2016)	babassu (caroço) (BRAUN <i>et al.</i> , 2020)	palma (caroço) (BRAUN <i>et al.</i> , 2020)	coco (caroço) (BRAUN <i>et al.</i> , 2020)
C8:0									2	8	4	4	8
C10:0									2	11	3	3	3
C12:0					0				44	39	21	50	56
C14:0		0		0	0	1	3	1	17	8	31	16	15
C16:0	7	11	12	5	18	42	25	23	10	5	18	8	6
C16:1	0	0	0	0	3	0	4	4	0				
C17:0					0	0	1	1					
C18:0	3	2	1	1	2	3	16	9	2	2	6	2	3
C18:1	21	25	36	65	62	42	42	42	19	21	13	15	8
C18:2	66	53	48	21	14	12	1	17	3	5	0	2	2
C18:3	1	5		5	1	0	1	1			4		
outros	2	4	3	3	0	0	8	3	0	1	1	0	0
AGCC	0	0	0	0	0	1	3	1	65	66	59	73	82
AGS	10	13	13	6	20	46	45	34	78	74	83	83	91
AGMI	21	25	36	65	65	42	46	45	19	21	13	15	8
AGPI	67	58	48	26	15	12	1	18	3	5	4	2	2

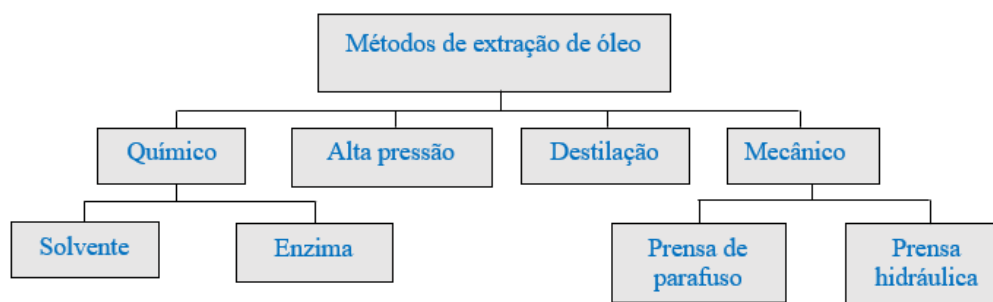
AGCC – ácidos graxos de cadeias curtas e médias (4 a 14 carbonos), AGS – ácidos graxos saturados, AGMI – ácidos graxos monoinsaturados, - AGPI – ácidos graxos poli-insaturados.

Fonte: Autoria própria (2022).

Métodos novos e técnicas convencionais são usadas em larga escala para extrair óleos e gorduras. O processo utilizado é de fundamental importância, à medida que acaba determinando a qualidade do produto obtido. Apesar das inovações, os métodos mais usados são as prensas mecânicas, a extração com solvente e a enzimática. Uma boa técnica deve extrair o óleo com alto rendimento, baixos consumos de tempo e de energia e causando mínimos riscos ao meio

ambiente (MWAURAH *et al.*, 2020). A Figura 3 apresenta os principais métodos de extração utilizados com materiais oleaginosos (ÇAKALOĞLU; ÖZYURT; ÖTLEŞ, 2018).

Figura 3: Métodos básicos de extração de óleos.



Fonte: Autoria própria (2022).

A extração com solvente é uma técnica que consiste em se remover um constituinte de um sólido através de um líquido solvente. Nesta separação, o solvente solubiliza o óleo e depois é separado por evaporação ou destilação. Os solventes mais usados são hexano, heptano, éter de petróleo, acetona, clorofórmio e acetato de etila. Em laboratório, o procedimento clássico de extração por solvente emprega o aparelho de Soxhlet, com o refluxo do solvente por várias horas. O solvente escolhido deve seguir alguns critérios como ser seletivo e apresentar viscosidade suficientemente baixa para uma melhor circulação. Quanto mais baixo for seu ponto de ebulição, mais fácil é a sua recuperação e separação ao final do processo. O aumento da temperatura melhora o rendimento da extração, uma vez que há uma maior solubilidade do óleo (ATABANI *et al.*, 2013; PIKULA *et al.*, 2020). A recuperação do solvente utilizado é uma vantagem deste processo. A decomposição do óleo é diminuída com líquidos com baixo ponto de ebulição, havendo menor consumo energético (ATABANI *et al.*, 2013; MWAURAH *et al.*, 2020). Como desvantagens, a extração utiliza solventes inflamáveis e voláteis, os quais emitem compostos orgânicos danosos à exposição humana e ao meio ambiente, há a geração de resíduos perigosos, e, em geral, são caros. Estudos vem abordando a potencial utilização de solventes verdes em substituição aos convencionais (KUMAR *et al.*, 2017).

A técnica de extração de óleos usando prensas mecânicas é a prática mais convencional e antiga que existe. São utilizadas tanto prensas manuais como movidas a motor. As sementes são pressionadas mecanicamente, tendo o seu volume reduzido, o que acaba forçando o óleo a sair da sua matriz. Ao final do processo, são obtidas duas frações. A parte sólida do material que é a chamada torta, e o óleo ou a gordura, brutos. Estes últimos podem conter algum tipo de impureza sólida oriundo da prensagem e, em função disso, devem passar por filtros-prensas. Os

óleos também passam por processo de degomagem para retirada de fosfolipídios, proteínas e outras substâncias coloidais (ÇAKALOĞLU; ÖZYURT; ÖTLEŞ, 2018).

A vantagem da extração mecânica é a produção de óleos de boa qualidade e a possibilidade de utilização da torta, o que não ocorre quando se extrai o material graxo com solvente. Como desvantagem, as prensas mecânicas são construídas para sementes específicas, o que afeta o seu rendimento caso seja utilizada para extração de espécies oleaginosas diferentes da sua especificação (NDE; FONCHA, 2020; ZULQARNAIN *et al.*, 2021).

A extração enzimática é uma técnica onde são utilizadas enzimas apropriadas para extrair o óleo das sementes esmagadas. A eficiência da extração depende da concentração, tipo e composição da enzima, além da natureza das matérias-primas e das condições de reação. A presença de água é necessária para a difusão e a mobilidade enzimática e a extração também depende fortemente do pH do meio. A principal vantagem é que se trata de uma técnica que não emite compostos orgânicos voláteis e não há consumo de solventes (ATABANI *et al.*, 2013; PIKULA *et al.*, 2020). Não há a necessidade de remoção de fosfolipídios, além de não ocorrer a perda de qualidade do óleo. A aplicação desta tecnologia, porém, possui limitações como alto custo com as enzimas e um alto tempo de incubação (ZULQARNAIN *et al.*, 2021).

3. PARTE EXPERIMENTAL

As extrações foram realizadas pelo procedimento descrito a seguir: 150 g de sementes (Rose Sementes) foram trituradas em um liquidificador e submetidas à extração com heptano (Química Moderna) em um extrator de Soxhlet por 3 h. A seguir, o solvente foi eliminado em rotaevaporador. O ponto de fluidez (PP) do óleo da palmeira imperial foi medido de acordo com a norma ASTM D97-17 (ASTM INTERNATIONAL, 2017) em um determinador PP IP18 em duplicata. A massa específica foi determinada em balão volumétrico de 10 mL em triplicata. A viscosidade cinemática a 40°C foi determinada conforme a norma ASTM D445-06 (ASTM INTERNATIONAL, 2006) em um tubo Cannon-Fenske 200 em triplicata. O índice de acidez (IA) do óleo vegetal foi determinado com base nas normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz em triplicata (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

O biodiesel de óleo de palmeira imperial foi obtido pelo seguinte protocolo (SANTOS, 2018): em um balão de fundo redondo foram introduzidos 10 g de óleo pré aquecidos a 50 °C, seguidos de uma solução de 0,2 g de gliceróxido de sódio (CEPPED) em 5,7 mL de metanol (Nuclear). A mistura foi levada a refluxo com agitação magnética por 1 h, e, a seguir, transferida para um funil de separação. A fase inferior foi descartada e o biodiesel lavado com água a 70

°C (3 x 20 mL). Por fim, o biodiesel foi aquecido a 100 °C em chapa de aquecimento com agitação magnética por 2 h para eliminação dos voláteis. A massa específica a 20 °C do biodiesel foi determinada em balão volumétrico de 10 mL em triplicata. O teor de ésteres graxos foi determinado por Ressonância Magnética Nuclear (RMN) de Hidrogênio (GUZZATTO; DE MARTINI; SAMIOS, 2011). Aquisição dos espectros: 50 mg de amostra foram dissolvidos em 0,5 mL de CDCl₃. Os espectros de RMN de Hidrogênio foram adquiridos com 32 *scans* e tempo de relaxação de 2 s. A amostra foi preparada em triplicata e os espectros adquiridos e editados três vezes. Do espectro, foram coletadas as áreas do simpleto em 3,7 ppm e do tripleto em 2,3 ppm. O teor de ésteres graxos (T_{EG}) foi calculado pela equação 1.

$$T_{EG} = 100 \times \frac{2}{3} \times \frac{A_{OMe}}{A_{\alpha}} \quad (1)$$

na qual,

A_{OMe} é a área do simpleto em 3,7 ppm;

A_α é a área do tripleto em 2,3 ppm.

A composição do biodiesel foi estimada por cromatografia gasosa. A amostra foi preparada em hexano (10 mg mL⁻¹) e injetada em um cromatógrafo gasoso HP 5890 equipado com detector por ionização em chama (FID), e coluna DBWAX (30m x 25 mm x 0,25 μm). O seguinte programa de temperatura foi empregado: temperatura inicial de forno 80 °C por 2 min, taxa de aquecimento, 2 °C min⁻¹ e temperatura final de forno 240 °C. Um volume de 1,0 μL foi injetado no modo split (50:1). O gás de arraste utilizado foi o hidrogênio. A temperatura utilizada para o detector foi de 240 °C e para o injetor 230 °C. A composição foi determinada por normalização de áreas sem correção por fatores de resposta (VISENTAINER, 2012).

Os resultados, quando pertinente, são expressos como intervalos de confiança (95 %).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O óleo das sementes de palmeira imperial foi obtido como um líquido viscoso e límpido de coloração amarela clara e odor característico, com rendimento de 14 ± 2 %.

As propriedades físicas do óleo são apresentadas na Tabela 3 junto a dados da literatura para comparação.

Tabela 2: Propriedades dos óleos de palmeira imperial e soja, da gordura de babaçu, do sebo bovino e da banha suína: massa específica (ρ) a 20 °C, viscosidade (ν) a 40 °C e ponto de fluidez (PP).

	ρ (g mL ⁻¹)	ν (mm ² s ⁻¹)	PP (°C)
palmeira imperial	0,894 ± 0,003	19,6 ± 0,1	6
babaçu (KUMAR; SHARMA, 2016)	-	-	35
palma (SAJJADI <i>et al.</i> , 2016)	0,897	40	14
banha (KUMAR; SHARMA, 2016)	-	-	14
sebo (KUMAR; SHARMA, 2016)	-	-	20
soja (SAJJADI <i>et al.</i> , 2016)	0,916	31,8	-7

Fonte: Autoria própria (2022).

O óleo da palmeira imperial apresenta ponto de fluidez (PP) de 6 °C, maior do que o de soja, -7 °C, e menor do que o de palma, 14 °C. A massa específica a 20 °C e a viscosidade a 40 °C são inferiores às de ambos. Os pontos de fluidez da banha e do sebo são 14 e 20 °C, respectivamente. O PP da gordura de babaçu, a qual contém 84 % de AG saturados, é o mais elevado entre as fontes graxas apresentadas na Tabela 3.

O índice de acidez (IA) do óleo de palmeira imperial foi estimado como 5,8 ± 0,2 mg de KOH g⁻¹ de óleo. A determinação do IA do óleo é importante para a escolha do catalisador empregado na transesterificação. Se superior a 6 mg de KOH g⁻¹ de óleo, a catálise alcalina não deve ser aplicada.

Tendo como base o índice de acidez do óleo, a transesterificação foi conduzida por catálise alcalina com gliceroxido de sódio. Para a transesterificação metílica, as condições ótimas de reação envolvem uma razão molar de 12:1 de álcool em relação ao óleo e o catalisador em 2 % em massa com relação ao triglicerídeo. A purificação é realizada em duas etapas. A lavagem com água remove contaminações como catalisador, glicerol e metanol e a secagem elimina a umidade e traços do álcool ainda presentes.

A massa específica do biodiesel foi estimada em 0,868 ± 0,005 g mL⁻¹, semelhante ao descrito na literatura para biodieseis metílicos de outras palmáceas, Tabela 3. A resolução 45 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) estabelece o intervalo de 0,85 a 0,90 g mL⁻¹ a 20°C como especificação para o biodiesel comercial.

É esperado que o biodiesel apresente sua massa específica menor do que o óleo que lhe deu origem, e esta característica pode ser utilizada como uma evidência do êxito da transesterificação. De fato, a diferença de massa específica entre o óleo da palmeira imperial e seu biodiesel é 0,026 g mL⁻¹.

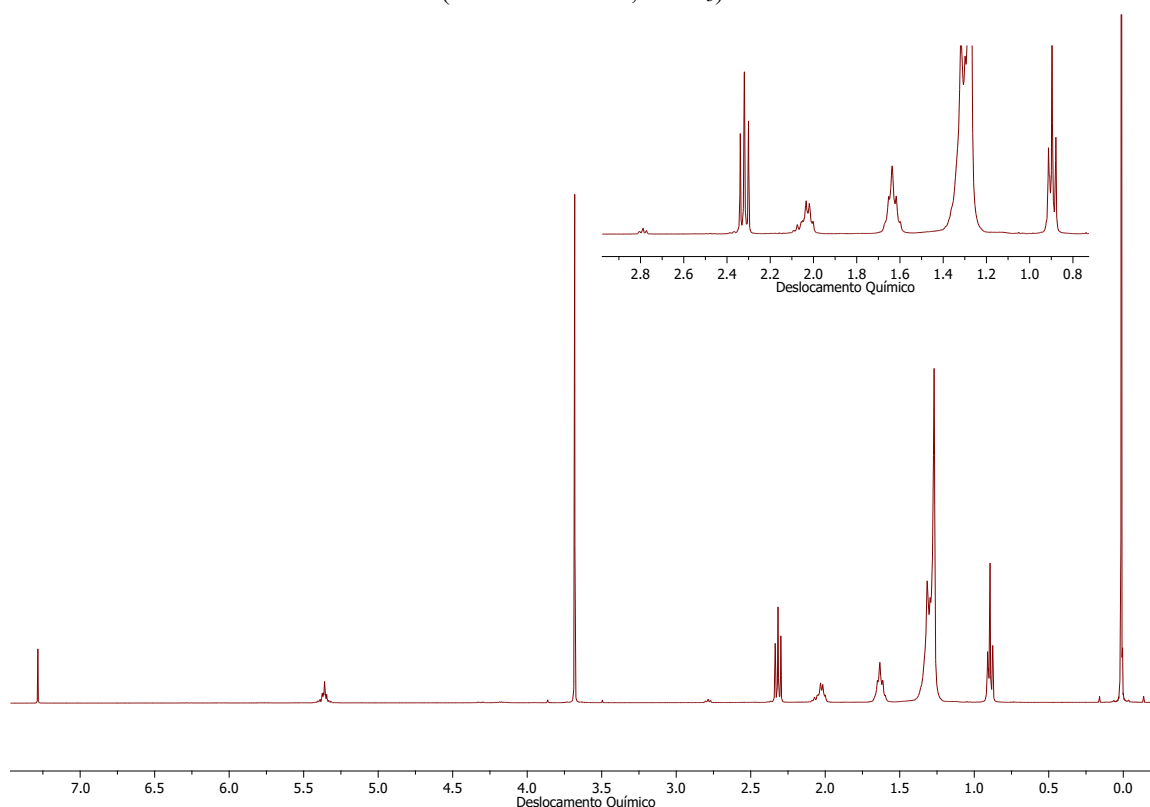
Tabela 3: Massa específica (ρ) a 20 °C dos biodieseis derivados de óleos e gordura de palmáceas.

	ρ (g mL ⁻¹)
palmeira imperial	0,868 ± 0,005
jerivá (SANTOS <i>et al.</i> , 2020b)	0,8627
butiá da serra (SANTOS <i>et al.</i> , 2020b)	0,8640
coco (SANTOS <i>et al.</i> , 2020b)	0,8641
palma (SANTOS <i>et al.</i> , 2020b)	0,8721
babaçu (SANTOS <i>et al.</i> , 2020b)	0,8728

Fonte: Autoria própria (2022).

O espectro de RMN de Hidrogênio do biodiesel do óleo da palmeira imperial é apresentado na Figura 4.

Figura 4: Espectro de RMN de Hidrogênio do biodiesel derivado do óleo de sementes de palmeira imperial (Varian 400 MHz, CDCl₃).

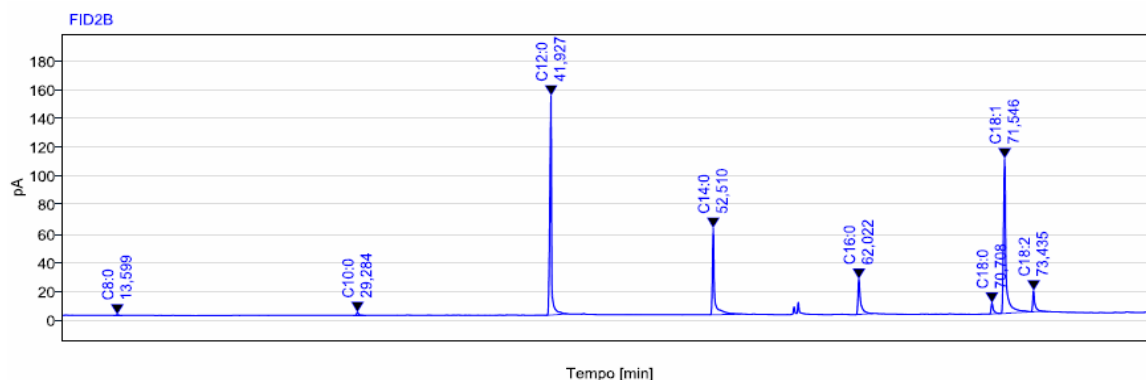


Fonte: Autoria própria (2022).

O teor de ésteres graxos é obtido a partir das integrais do simpleto atribuído à metoxila em δ 3,7, presente apenas no biodiesel, e do tripleto dos hidrogênios α -carbonílicos em δ 2,3, comum aos espectros do biodiesel, intermediários e ainda, da matéria prima não consumida, e foi estimado em $94,7 \pm 0,4$ %, ligeiramente inferior ao exigido pela ANP, que é 96,5 %.

A composição do biodiesel do óleo de palmeira imperial foi determinada por cromatografia gasosa com detector por ionização em chama. O cromatograma é apresentado na Figura 5.

Figura 5: Cromatograma do biodiesel de palmeira imperial.



Fonte: Autoria própria (2022).

Os resultados obtidos, assim como as composições de biodieseis derivados de gorduras de outras palmáceas, são apresentados na Tabela 4.

O biodiesel da palmeira imperial apresenta 61 % de seus ésteres graxos saturados sendo a maior parte deles de cadeias curtas, inferiores a 16 átomos de carbono, e 33 % de monoinsaturados, com composição muito próxima ao do biodiesel do óleo de jerivá. Os biodieseis das demais palmáceas apresentados na Tabela 4 são mais ricos em ésteres de cadeias curtas, 68 % ou superior, e muito pobres nas insaturadas, as quais não chegam a 30 %. O biodiesel de soja, com composição típica dos derivados de óleos vegetais, não apresenta cadeias curtas e é predominantemente formado por ésteres insaturados.

A composição do óleo descrita como teores de ácidos graxos é semelhante à do biodiesel que dele deriva. À propósito, isto explica o seu ponto de fluidez do óleo da semente da palmeira imperial, o qual é intermediário ao de óleos vegetais convencionais e das gorduras de outras palmáceas ou de origem animal. Comparado ao óleo de soja, o teor de insaturados é menor, mas a presença de cadeias mais curtas justifica apresentar-se como líquido na temperatura ambiente. Com relação às gorduras de palmáceas como o babaçu, o coco e o palmiste, embora apresente cadeias curtas, tem um teor de insaturados nitidamente maior, o que, novamente, justifica a diferença de estado físico entre eles. Por fim, o teor de cadeias saturadas é maior do que no sebo ou na banha, que são sólidos, mas, novamente, as cadeias com comprimentos inferiores a 16 carbonos no óleo de palmeira imperial determinam o ponto de fluidez mais baixo.

Tabela 4: Composições (%) dos biodieseis derivados dos óleos de palmeira imperial, jerivá, butiá da serra e das gorduras de coco, palmiste e babaçu.

	palmeira imperial	jerivá (SANTOS <i>et al.</i> , 2020b)	butiá (SANTOS <i>et al.</i> , 2020b)	coco (SANTOS <i>et al.</i> , 2020b)	palmiste (SANTOS <i>et al.</i> , 2020b)	babaçu (SANTOS <i>et al.</i> , 2020b)	soja (SANTOS <i>et al.</i> , 2020b)
C8:0	0,2	6,4	8,9	6,0	2,8	4,8	
C10:0	0,6	6,1	13,2	4,9	3,0	4,8	
C12:0	34,8	36,9	37,9	44,8	48,8	45,7	
C14:0	16,8	9,3	7,9	18,2	15,5	16,9	0,1
C16:0	8,3	6,8	5,3	9,8	8,1	9,0	10,5
C18:1	32,8	29,3	19,9	10,3	18,1	15,4	26,1
C18:2	2,3	2,7	3,4	2,6	2,4	2,0	53,7
C18:3	-	-	-	-	1,2	1,3	5,3
outros	-	2,5	3,5	3,4	0,1	0,1	4,3
Σ_{EGCC}	52,4	58,7	67,9	73,9	70,1	72,2	0,1
Σ_{EGS}	60,7	65,5	73,2	83,7	78,2	81,2	10,6
Σ_{EGGPI}	2,3	2,7	3,4	2,6	3,6	3,3	59,0

Fonte: Autoria própria (2022).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As sementes da palmeira imperial, a respeito do seu conteúdo de óleo, 14 % em massa, e do seu potencial energético, não têm sido exploradas. O óleo extraído com heptano tem baixa acidez e ponto de fluidez intermediário ao de óleos vegetais convencionais e das gorduras de outras palmáceas. O biodiesel derivado do óleo é composto majoritariamente por laureato, miristato e oleato de metila e teores mais baixos de outros ésteres graxos. O teor de ésteres totais no produto obtido foi ligeiramente inferior ao que estabelece a legislação brasileira, problema que pode ser resolvido com pequenos ajustes na metodologia de transesterificação empregada.

REFERÊNCIAS

ASTM D97-17, Standard test method for pour point of petroleum products. West Conshohocken: ASTM INTERNATIONAL, 2017.

ASTM D445-06, Standard test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquids. West Conshohocken: ASTM INTERNATIONAL, 2006.

ATABANI, A. E. *et al.* Non-edible vegetable oils: A critical evaluation of oil extraction, fatty acid compositions, biodiesel production, characteristics, engine performance and emissions production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 18, p. 211–245, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.013>

BRAUN, J. v. *et al.* Oxidative stability and cold filter plugging point of Biodiesel blends derived from fats and soy oil. **Química Nova**, v. 43, n. 9, p. 1246–1250, 2020. <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170619>

ÇAKALOĞLU, B.; ÖZYURT, V. H.; ÖTLEŞ, S. Cold press in oil extraction. A review. **Ukrainian Food Journal**, v. 7, n. 4, p. 640–654, 2018. <http://dx.doi.org/10.24263/2304-974X-2018-7-4-9>

DE OLIVEIRA, D. M. *et al.* Obtenção de biodiesel por transesterificação em dois estágios e sua caracterização por cromatografia gasosa: óleos e gorduras em laboratório de química orgânica. **Química Nova**, v. 36, n. 5, p. 734–737, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000500021>

FERREIRA, P. G. *et al.* Aqui tem Química: Supermercado Parte I. Óleos e Gorduras. **Revista Virtual de Química**, v. 14, p. 185–199, 2022. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20220012>

GUZATTO, R.; DE MARTINI, T. L.; SAMIOS, D. The use of a modified TDSP for biodiesel production from soybean, linseed and waste cooking oil. **Fuel Processing Technology**, [s. l.], v. 92, n. 10, p. 2083–2088, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.06.013>

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de Alimentos**. 4. ed. São Paulo: IAL, 2008

KNOTHE, G.; RAZON, L. F. Biodiesel fuels. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 58, p. 36–59, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2016.08.001>

KUMAR, S. P. J. *et al.* Green solvents and technologies for oil extraction from oilseeds. **Chemistry Central Journal**, v. 11, n. 1, p. 1–7, 2017. <https://doi.org/10.1186/s13065-017-0238-8>

KUMAR, M.; SHARMA, M. P. Selection of potential oils for biodiesel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 56, p. 1129, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.032>

MICHELIN, S. *et al.* Kinetics of ultrasound-assisted enzymatic biodiesel production from Macauba coconut oil. **Renewable Energy**, v. 76, p. 388–393, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.067>

MWAURAH, P. W. *et al.* Novel oil extraction technologies: Process conditions, quality parameters, and optimization. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 19, n. 1, p. 3–20, 2020. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12507>

NDE, D. B.; FONCHA, A. C. Optimization methods for the extraction of vegetable oils: A review. **Processes**, v. 8, n. 2, p. 209, 2020. <https://doi.org/10.3390/pr8020209>

PAINEL DINÂMICO ANP, 2021. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiOTlkODYyODctMGJjNS00MGlyLWJmMWItNGJlNDg0ZTg5NjBliiwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTI0YTYtNGI0Mi1iN2VmLTEyNGFmY2FkYzIxMyJ9&pageName=ReportSection8aa0cee5b2b8a941e5e0%22>, acessado em: Set 2022.

PAULINO, I. B. *et al.* Ponto de fluidez, viscosidade e densidade de biodieséis etílicos derivados de óleos e gorduras. *Em*: TULLIO, L. (org.). **Fontes de Biomassa e Potenciais de Uso 2**. Ponta Grossa: Atena, 2020. <https://doi.org/10.22533/at.ed.0742021078>

PIKULA, K. *et al.* The advances and limitations in biodiesel production: feedstocks, oil extraction methods, production, and environmental life cycle assessment. **Green Chemistry Letters and Reviews**, v. 13, n. 4, p. 11–30, 2020. <https://doi.org/10.1080/17518253.2020.1829099>

RAMALHO, H. F.; SUAREZ, P. A. Z. A química dos óleos e gorduras e seus processos de extração e refino. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 1, p. 2–15, 2013. <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20130002>

RAMOS, L. P. *et al.* Biodiesel: raw materials, production technologies and fuel properties. **Revista Virtual de Química**, v. 9, p. 317, 2017. <http://dx.doi.org/10.21577/1984-6835.20170020>

REZENDE, M. J. C. *et al.* Biodiesel: an overview II. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 32, n. 7, p. 1301–1344, 2021. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20210046>

SAJJADI, B. *et al.* A comprehensive review on properties of edible and non-edible vegetable oil-based biodiesel: composition, specifications, and prediction models. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 63, p. 62, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.035>

SANTOS, V. O. B. *et al.* Ésteres graxos derivados de óleos e gorduras de palmáceas: obtenção e caracterização. *Em*: TULLIO, L. (org.). **Fontes de Biomassa e Potenciais de Uso 2**. Ponta Grossa: Atena, 2020. <https://doi.org/10.22533/at.ed.0742021075>

SANTOS, S. J. **Avaliação do gliceróxido de sódio como catalisador na transesterificação metílica de óleo de soja por planejamento experimental Doehlert a duas variáveis**. 2018. 32 p. Monografia (Bacharelado em Química Industrial) – Curso de Química, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2018.

SOUZA, P. T.; ANSOLIN, M.; TUBINO, M. Binary blends of biodiesel from macauba (*Acromia aculeata*) kernel oil with other biodiesels. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 29, n. 2, p. 240–247, 2018. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20170134>

VIANNI, R.; BRAZ-FILHO, R. Ácidos graxos naturais: importância e ocorrência em alimentos. **Química Nova**, v. 19, p. 400, 1996. http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=4085, acessado em: Set, 2022.

VIEIRA, B. M. *et al.* The synthesis and characterization of *Butia capitata* seed oil as a FAME feedstock. **Fuel**, v. 184, p. 533–535, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2016.07.052>

VISENTAINER, J. V. Aspectos analíticos da resposta do detector de ionização em chama para ésteres de ácidos graxos em biodiesel e alimentos. **Química Nova**, v. 35, n. 2, p. 274–279, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422012000200008>

ZULQARNAIN *et al.* A comprehensive review on oil extraction and biodiesel production technologies. **Sustainability (Switzerland)**, v. 13, n. 2, p. 1–28, 2021. <https://doi.org/10.3390/su13020788>

CAPÍTULO 9

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BIODIESEL METÁLICO DERIVADO DE ÓLEO DE PEIXE

Bruna Oliveira Gomes
Samuel José Santos
Luiz Antonio Mazzini Fontoura

RESUMO

O biodiesel é um combustível renovável, que pode ser obtido a partir de fontes graxas vegetais e animais. Os ésteres graxos que compõem o biodiesel são obtidos por transesterificação de triacilgliceróis com álcoois de cadeia curta na presença de um catalisador. Óleos e gorduras de origem animal, em geral, possuem valor comercial baixo ou inexistente. O óleo de peixe é um exemplo. Estima-se que de 10 a 50 % do pescado é descartado como resíduo. O objetivo deste trabalho foi obter e caracterizar biodiesel metílico a partir de óleo de tainha. O óleo bruto foi obtido por extração das vísceras de tainha com heptano e teve as seguintes propriedades estimadas: índice de acidez, 0,34 mg KOH por g amostra (titulometria); viscosidade cinemática a 40 °C, 25,9 mm² s⁻¹ (Cannon-Fenske); ponto de fluidez, 0 °C (ASTM D97); massa molar média, 871 g mol⁻¹ (RMN-¹H); índice de iodo, 123 g I₂ por 100 g de amostra (RMN-¹H); índice de saponificação, 193 mg KOH por g de amostra (RMN-¹H). O biodiesel metílico foi obtido por transesterificação do óleo catalisada por gliceroxido de sódio e teve as seguintes propriedades estimadas: massa específica, 0,877 g mL⁻¹ (balão volumétrico), viscosidade cinemática a 40 °C, 4,12 mm² s⁻¹ (Cannon-Fenske); ponto de fluidez, 3 °C (ASTM D97); massa molar média, 291 g mol⁻¹ (RMN-¹H); índice de iodo, 119 g I₂ por 100 g de amostra (RMN-¹H); índice de saponificação, 193 mg KOH por g de amostra (RMN-¹H) e teor de ésteres graxos, 99 % (RMN-¹H). Com relação às propriedades estudadas, o biodiesel atende às especificações da legislação brasileira.

PALAVRAS-CHAVE: Biodiesel. Óleo de peixe. Transesterificação.

1. INTRODUÇÃO

Alternativas ao uso do petróleo como principal fonte de matéria prima para combustíveis tem sido buscadas há muito tempo, seja pela sua possível escassez, seja pela necessidade de encontrar fontes renováveis e ambientalmente sustentáveis. Dois exemplos consolidados são o etanol e o biodiesel. O primeiro foi introduzido na matriz energética brasileira nos anos 80 do século XX como substituto à gasolina em motores com ignição por centelha. O último, no início do século XXI, como alternativa ao diesel em motores com ignição por compressão (SUAREZ; MENEGUETTI, 2007).

O biodiesel pode ser definido como um combustível renovável, composto por uma mistura de ésteres graxos, os quais são obtidos por transesterificação de óleos e gorduras com álcoois de cadeia curta, na presença de um catalisador. Entre outras vantagens, apresenta maior poder lubrificante que o diesel, maior índice de cetano e ponto de fulgor mais elevado. Além disso, do ponto de vista econômico permite a diminuição da dependência do petróleo importado e estimula o desenvolvimento rural. Por fim, é biodegradável, renovável e contribui menos para

problemas ambientais como o efeito estufa e a chuva ácida (DE OLIVEIRA *et al.*, 2013; MENEGHETTI; MENEGHETTI; BRITO, 2013; RAMOS *et al.*, 2017).

No Brasil, as primeiras tentativas de uso do biodiesel datam da década de 40, quando o governo proibiu a exportação do óleo de algodão com o intuito de forçar sua utilização como combustível em trens. Mais tarde, com a crise do petróleo na década de 70 e o aumento do valor do barril de petróleo, o país criou o PROÁLCOOL, programa do governo federal que regulamentava o uso do etanol hidratado e anidro como combustível e aditivo na gasolina, respectivamente. Nesse mesmo período, surge também o PROÓLEO, que previa uma mistura de 30% de biodiesel no diesel de petróleo e, a longo prazo, a sua substituição total. O programa terminou no fim da década de 80, após a queda dos preços do petróleo. A introdução oficial do biodiesel na matriz energética brasileira somente ocorreu em 2005, com a criação do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) (DE OLIVEIRA; COELHO, 2017; POUSA; SANTOS; SUAREZ, 2007; SUAREZ; MENEGUETTI, 2007).

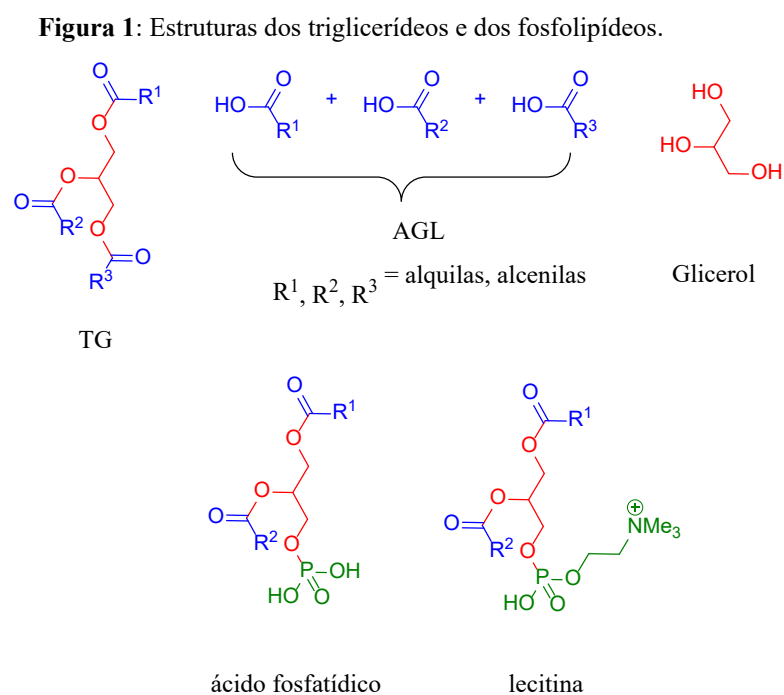
Atualmente, no Brasil, a mistura obrigatória do biodiesel ao diesel de petróleo é de 13 % (PAINEL DINÂMICO ANP, 2021). No ano de 2021, o país foi o segundo maior produtor mundial de biodiesel com uma produção de aproximadamente 7 milhões de m³, atrás apenas da Indonésia (STATISTA, 2022). Deste volume, cerca de 30% foram produzidos pelo Rio Grande do Sul. No mesmo ano, as matérias primas mais utilizadas na sua produção foram o óleo de soja, 68%, e a gordura bovina, 8% (PAINEL DINÂMICO ANP, 2021). O óleo de soja também é o mais utilizado em outros países do continente americano, enquanto na Europa e na Ásia são empregados os óleos de canola e de palma respectivamente (REZENDE *et al.*, 2021).

Apesar das vantagens do uso do biodiesel, a sua cadeia produtiva ainda é pouco competitiva economicamente. Um dos motivos se deve ao custo da matéria prima e estima-se que cerca de 80% do valor total da produção do biodiesel provém da fonte graxa utilizada (KNOTHE; RAZON, 2017). Óleos e gorduras animais, em geral, possuem valor comercial baixo ou inexistente, e, com exceção da banha, são pouco utilizados. O óleo de peixe é um exemplo.

A principal fonte de óleo de peixe resulta de seu processamento para fins alimentícios. Estima-se que 50 a 90% do pescado é utilizado para o consumo humano e o restante (cabeças, cauda, barbatanas, vísceras e pele) é descartado como resíduo. Desse resíduo, 40 a 65% é composto de óleo (CARDOSO *et al.*, 2019; CHING-VELASQUEZ *et al.*, 2020). Neste trabalho, o biodiesel metílico de óleo de tainha foi obtido e caracterizado.

2. PARTE TEÓRICA

A classe mais abundante de lipídeos na natureza é a dos triglicerídeos, componentes majoritários dos óleos e das gorduras. Estruturalmente, os triglicerídeos podem ser descritos como a união de três moléculas de ácidos graxos ligadas a uma molécula de glicerol. Algumas fontes graxas são ricas também em ácidos graxos livres. Além destes, em menor teor, estão presentes os fosfolipídeos, nos quais ao menos um dos resíduos de ácidos graxos são substituídos pelo ácido fosfórico ou algum derivado. Estes últimos possuem características hidrofílicas e hidrofóbicas, motivo pelo qual são muito utilizados como surfactantes e emulsificantes na indústria. Um exemplo é a lecitina. A Figura 1 apresenta as estruturas genéricas dos triglicerídeos e dos fosfatídeos (RAMALHO; SUAREZ, 2013; RAMOS *et al.*, 2017; REDA; CARNEIRO, 2007):



Fonte: Autoria própria (2022).

Tabela 1: Composição (%) de óleos e gorduras de diferentes fontes graxas: total ácidos graxos saturados (Σ AGS), total ácidos graxos monoinsaturados (Σ AGMI), total ácidos graxos poli-insaturados (Σ AGPI).

	Banha (DE OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2013)	Sebo (DE OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2013)	Frango (ANTONIO; AMANCIO; ROSSET, 2018)	Algodão (DE OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2013)	Canola (DE OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2013)	Girassol (DE OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2013)	Soja (DE OLIVEIRA <i>et al.</i> , 2013)	Peixe (CHING-VELASQUEZ <i>et al.</i> , 2020)	Sardinha (KUMAR <i>et al.</i> , 2019)	Bacalhau (PAPARGYRIOU <i>et al.</i> , 2019)
C14:0	2	3						4	8	9
C15:0								3	2	
C16:0	23	27	24	26	4	7	12	25		14
C16:1	3	2	6					8	24	14
C17:0	1	2						2		
C18:0	10	24	6	1	2	3	4	9		6
C18:1	43	41	38	13	62	17	23	25	13	14
C18:2	19	2	24	59	20	73	54	7	4	3
C18:3			2		8		6	2		2
C18:4										4
C20:1									9	9
C20:4								2		
C20:5								2	36	10
C22:0									1	
C22:1										6
C22:4								3		
C22:6								6		11
Outros		1		1	4	0	11			
Σ AGS	36	56	30	27	6	10	16	43	11	29
Σ AGMI	46	43	44	13	62	17	23	33	37	28
Σ AGPI	19	2	26	59	28	73	60	22	40	30

Fonte: Autoria própria (2022).

Os ácidos graxos são, normalmente, representados como CX:Y, onde X corresponde ao número de carbonos e Y à quantidade de insaturações no grupo acila. As cadeias variam de 4 a 30 carbonos, normalmente com número par, embora os mais comuns possuam 16 ou 18 carbonos. Quando presentes, as ligações duplas apresentam isomeria *cis*, sendo de rara ocorrência natural, os isômeros *trans*. Os cinco mais abundantes são os ácidos palmítico (C16:0), esteárico (C18:0), oleico (C18:1), linoleico (C18:2) e linolênico (C18:3). Nos triglicerídeos, os ácidos graxos podem ser encontrados em qualquer arranjo e combinação.

Quando os teores de insaturados são superiores a 70%, são óleos, isto é, líquidos à temperatura ambiente. Caso contrário, são sólidos e são chamados de gorduras. (RAMALHO; SUAREZ, 2013; RAMOS *et al.*, 2017; REDA; CARNEIRO, 2007; VIANNI; BRAZ-FILHO, 1996). A Tabela 1 apresenta a composição de alguns óleos e gorduras de origem animal ou vegetal.

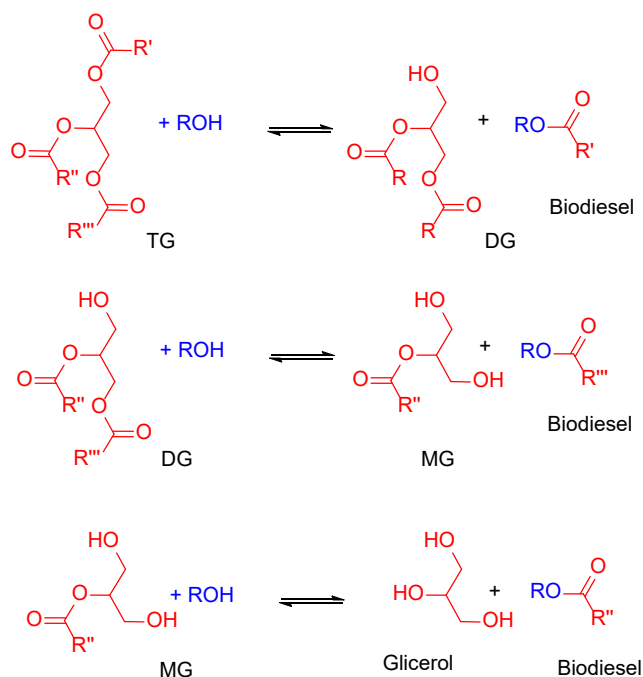
Entre os óleos apresentados na Tabela 1, o que apresenta menor teor de insaturados é o de algodão (72%) e os que apresentam maior teor são os de canola e o de girassol (90%). O primeiro, no entanto, é composto predominantemente por cadeias monoinsaturadas (62%), enquanto o último, de poli-insaturadas (73%). Dentre as gorduras de origem animal, a que apresenta maior teor de cadeias saturadas é o sebo (56%) e a que apresenta menor teor é a de frango (30%). Os óleos de peixes apresentam composições mais complexas, incluindo cadeias mais longas entre 20 e 24 carbonos com uma a seis ligações duplas, algo pouco usual nas demais fontes graxas, e teores de saturados entre 11 e 43%.

O biodiesel é constituído por uma mistura de ésteres graxos a qual é obtida por transesterificação de triglicerídeos (TG). A reação, que é uma alcoólise, é apresentada no Esquema 1 e é constituída de três ciclos, tendo di e monoglicerídeo como intermediários. Além do biodiesel, o glicerol é obtido como coproduto (MARQUES *et al.*, 2008; RAMOS *et al.*, 2017).

A reação é lenta e requer o emprego de catalisadores, os quais podem ser ácidos ou alcalinos. O catalisador deve ser adicionado em concentrações entre 0,4 e 2% da massa de triglicerídeo. Para que as reações de transesterificação, via rota alcalina, ocorram com boa conversão, é necessário que a fonte graxa possua baixa acidez, evitando assim a neutralização do catalisador e a formação de sabões. Os catalisadores alcalinos mais utilizados são os hidróxidos e os metóxidos de sódio e potássio. Entre os ácidos, o sulfúrico e o fosfórico são os principais (MENEGHETTI; MENEGHETTI; BRITO, 2013; RAMOS *et al.*, 2017).

Na transesterificação, a constante de equilíbrio não é alta e, para aumentar a conversão, é comum o uso do álcool em excesso. Na metanolise de triglicerídeos por catálise alcalina homogênea a razão molar MeOH/TG comumente utilizada é de 6:1, contudo razões de até 12:1 podem ser utilizadas (MENEGHETTI; MENEGHETTI; BRITO, 2013; RAMOS *et al.*, 2017).

Esquema 1: Transesterificação de um triglicerídeo.



Fonte: Autoria própria (2022).

Para que possa ser comercializado, o biodiesel deve atender a um conjunto de especificações definidas pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Na lista de especificações, constam teores de ésteres graxos e de impurezas, propriedades físicas e de desempenho. A técnica recomendada para a determinação de ésteres graxos é a cromatografia gasosa. A mesma técnica é também empregada para a determinação de álcool residual, intermediários de reação e triglicerídeos não convertidos. Contaminantes inorgânicos devem ser monitorados, entre eles fósforo, enxofre, cálcio, magnésio, sódio e potássio. A técnica usada para determinação desses contaminantes é a espectroscopia de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009; MARQUES *et al.*, 2008).

Duas propriedades físicas exigidas são a viscosidade a 40 °C e a massa específica a 20 °C. Viscosidade cinemática é a capacidade que o óleo tem de escoar. É determinada pelo tempo que o líquido leva para fluir em um viscosímetro calibrado. A massa específica, por sua vez, pode ser determinada por densímetros. Tanto a massa específica quanto a viscosidade cinemática são afetadas pela composição do biodiesel e aumentam conforme aumenta a cadeia dos ésteres graxos. Biodieseis muito viscosos diminuem a eficiência de atomização no motor, podendo ocasionar a formação de resíduos na sua parte interna durante a combustão (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009; MARQUES *et al.*, 2008).

Duas outras propriedades importantes e altamente dependentes da natureza da matéria prima são a estabilidade oxidativa e a tendência à cristalização. A oxidação afeta principalmente os ésteres graxos poli-insaturados. Por esta razão, biodieseis derivados de óleos, em particular os de soja ou linhaça, são facilmente oxidados pelo oxigênio do ar. A formação do cristal, por sua vez, é influenciada por dois fatores, o tamanho da cadeia e a composição. Cadeias mais longas cristalizam com mais facilidade e facilitam a formação do sólido. Cadeias insaturadas com geometria *cis*, como aquelas presentes nos ésteres graxos insaturados, dificultam a organização das moléculas e, portanto, a cristalização. Assim, biodieseis com maiores teores de cadeias saturadas cristalizam com mais facilidade (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009; MARQUES *et al.*, 2008; PAULINO *et al.*, 2020).

Um ensaio clássico para a avaliação do grau de insaturação de óleos e gorduras, e que também é aplicado ao biodiesel, é o índice de iodo (I_1), o qual é expresso em g de I_2 por 100 g de amostra. O método consiste na adição de halogênios (Reagente de Wijs) em excesso na amostra, que se adicionam às ligações duplas. A concentração de halogênios não consumido é estimada por titulação com $Na_2S_2O_3$. O índice de iodo, então, é obtido como a diferença entre as quantidades acrescentada e remanescente (LÔBO; FERREIRA; CRUZ, 2009; MARQUES *et al.*, 2008).

O índice de saponificação (I_s) é expresso em mg de KOH por g de amostra. Os triglicerídeos são hidrolisados com excesso da base e cujo teor final é determinada por titulação com HCl de neutralização. O consumo de KOH durante a hidrólise diminui à medida que a massa molar do triglicerídeo aumenta e, por esta razão, pode ser utilizado como forma de identificação da natureza do óleo ou da gordura. Embora não faça parte da lista de especificações do biodiesel, é um parâmetro importante para a identificação da matéria prima (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

Alternativamente à titulometria, os índices de iodo e de saponificação podem ser determinados de forma simultânea por Ressonância Magnética Nuclear de Hidrogênio. A técnica tem como vantagens a rapidez, o baixo consumo de solventes ou reagentes e o volume reduzido de rejeitos.

3. PARTE EXPERIMENTAL

A gordura bruta presente nas vísceras da tainha foi fornecida por uma cooperativa de pescadores do município de Tramandaí (RS). No laboratório, foi fundida, extraída com heptano, e o extrato foi seco sobre sulfato e filtrado. Por fim, o solvente foi eliminado no rotavapor.

A viscosidade cinemática a 40 °C foi determinada em um tubo Cannon-Fenske conforme descrito na norma ASTM D445-06 (ASTM INTERNATIONAL, 2006). O ponto de fluidez foi medido em um determinador PP-IBP mod. 2018 pelo procedimento descrito na norma ASTM D97-17 (ASTM INTERNATIONAL, 2017) O índice de acidez do óleo foi determinado por titulometria de neutralização segundo o procedimento do Instituto Adolfo Lutz (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). Todos os ensaios foram realizados em triplicata, exceto o ponto de fluidez, que foi medido em duplicata. Os resultados foram expressos como intervalos de confiança (95%, n=3).

O biodiesel foi obtido pelo protocolo descrito por Santos (SANTOS, 2018). Em um balão de fundo redondo foram introduzidos 50 g do óleo pré-aquecido a 50 °C, seguidos por uma solução de 1 g de gliceróxido de sódio e 41 mL de MeOH. A mistura foi deixada em refluxo com agitação por 1 h. Após, a mistura foi transferida para um funil de separação e deixada em repouso, para a separação do glicerol. A fase inferior foi descartada e a superior, o biodiesel, foi lavada com água a 70 °C (3 x 25 mL). Por fim, o biodiesel foi aquecido em chapa com agitação magnética a 100 °C por 60 min.

A massa específica a 20 °C foi determinada em balões volumétricos de 10 mL e a viscosidade e o ponto de fluidez com os mesmos procedimentos aplicados ao óleo.

O teor de ésteres graxos do biodiesel foi estimado por ressonância magnética nuclear de hidrogênio em um espectrômetro Varian Mercury operando a 400 MHz em CDCl₃ (GUZATTO; DE MARTINI; SAMIOS, 2011). A amostra foi preparada pela dissolução de 50 mL do biodiesel em 0,5 mL de CDCl₃. O teor de ésteres graxos (T_{EG}) foi estimado pela equação 1,

$$T_{EG} = 100 \times \frac{2}{3} \times \frac{A_{3,7}}{A_{2,3}} \quad (1)$$

na qual

$A_{3,7}$ é a área do simpleto em 3,7 ppm

$A_{2,3}$ é a área do tripleto em 2,3 ppm.

As massas molares médias (M_M) do óleo e do biodiesel foram determinadas pelas equações 2 e 3, respectivamente,

$$M_M = 218 + 26 \times \frac{A_{5,4}}{A_{2,3}} + 14 \times \frac{A_{2,7-1,3}}{A_{2,3}} \quad (2)$$

$$M_M = 74 + 26 \times \frac{A_{5,4}}{A_{2,3}} + 14 \times \frac{A_{2,7-1,3}}{A_{2,3}} \quad (3)$$

nas quais,

$A_{5,4}$ é a área do multipletto em 5,4 ppm

$A_{2,3}$ é a área do triplete em 2,3 ppm

$A_{2,7-1,3}$ é o somatório das áreas dos multipletos na região de 2,7 a 1,3 ppm.

Os índices de iodo (I_I) e de saponificação (I_S) do óleo foram determinados pelas equações 4 e 5,

$$I_I = 76.142,4 \times \frac{A_{5,4}}{A_{2,3} \times M_M} \quad (4)$$

$$I_S = 3000 \times \frac{56,10}{M_M} \quad (5)$$

Os índices de iodo (I_I) e de saponificação (I_S) do biodiesel foram determinados pelas equações 6 e 7,

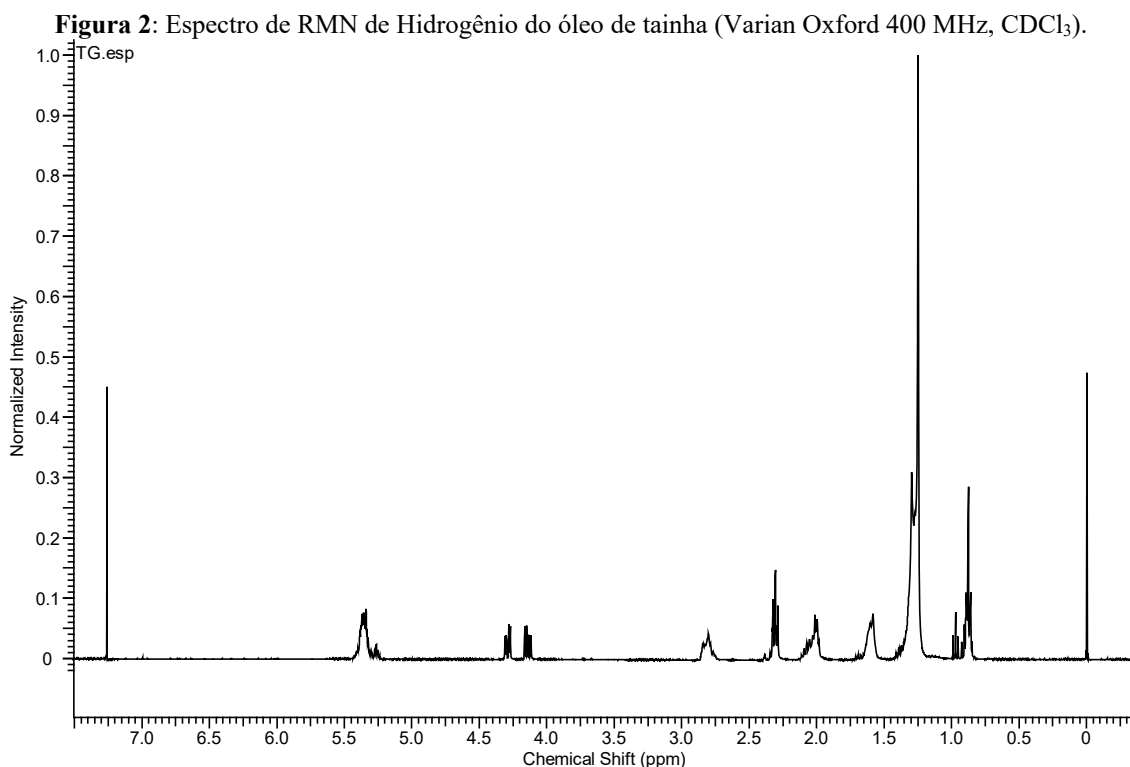
$$I_I = 25.380,8 \times \frac{A_{5,4}}{A_{2,3} \times M_M} \quad (6)$$

$$I_S = 1000 \times \frac{56,10}{M_M} \quad (7)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A massa da gordura de vísceras de tainha foi recebida no estado sólido. Após a fusão tinha um aspecto turvo e com material em suspensão. Gorduras de origem animal são purificadas, em geral por fusão seguida de filtração. A gordura de tainha foi aquecida em forno de micro-ondas. Ao contrário do imaginado, a fusão foi parcial restando um material gelatinoso de difícil separação. Por esta razão, procedeu-se a dissolução da mistura em heptano. A fase orgânica foi facilmente separada e filtrada. A evaporação do solvente forneceu um óleo límpido e isento de impurezas. Aproximadamente 25% da massa inicial de gordura recebida foi transformada em óleo.

O espectro de RMN de Hidrogênio do óleo de tainha é apresentado na Figura 2.



Fonte: Aatoria própria (2022).

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos para as propriedades do óleo de tainha e dados de literatura para comparação.

Para que o procedimento de transesterificação seja escolhido, é necessário determinar o índice de acidez. Fontes graxas que possuam elevado índice de acidez não apresentam bons rendimentos em reações de transesterificação via rota alcalina. O índice de acidez do óleo foi estimado em $0,34 \text{ mg KOH g}^{-1}$ de amostra, o que permite, portanto, o emprego da catálise alcalina.

A massa específica do óleo de tainha não foi determinada, pois à $20 \text{ }^\circ\text{C}$ o óleo apresentou cristais em suspensão. A viscosidade cinemática a $40 \text{ }^\circ\text{C}$ foi estimada em $25,9 \text{ mm}^2 \text{ s}^{-1}$, valor ligeiramente inferior ao relatado na literatura para outros óleos de peixes, mas marcadamente diferente do observado no óleo de soja, o que sugere maiores teores de poli-insaturados no óleo de tainha.

O ponto de fluidez é a última temperatura em que o líquido apresenta a capacidade de escoar quando submetido ao resfriamento e decresce à medida que o teor de cadeias insaturadas cresce no óleo ou no biodiesel (PAULINO *et al.*, 2020). O ponto de fluidez do óleo de tainha foi estimado em $0 \text{ }^\circ\text{C}$ bastante acima do óleo de soja, que é $-10,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Tabela 2: Propriedades do óleo de tainha: índice de acidez (I_A), massa específica a 20 °C (ρ), viscosidade cinemática a 40 °C (ν), ponto de fluidez (PP), massa molar média (M_M), índice de iodo (I_I) e índice de saponificação (I_S).

	tainha	Mix (CARDOSO <i>et al.</i> , 2019)	Mix (CHING-VELASQUEZ <i>et al.</i> , 2020)	Bacalhau (PAPARGYRIOU <i>et al.</i> , 2019)	Soja (FERREIRA <i>et al.</i> , 2022; SAJJADI <i>et al.</i> , 2016)
I_A (mg KOH g ⁻¹ amostra)	0,34 ± 0,05	10,9		0,53	
ρ (g mL ⁻¹)	-	0,931	0,92	0,897	0,916
ν (mm ² s ⁻¹)	25,9 ± 0,3	27,3	31,76		31,8
PP (°C)	0				-10,5
M_M (g mol ⁻¹)	871 ± 9	893,4			
N_D	4,23 ± 0,08				
I_I (g I ₂ por 100 g)	123 ± 1	100			125
I_S (mg KOH por g)	193 ± 2	181	198		190

mix – mistura de peixes, bacalhau – óleo de fígado de bacalhau

Fonte: Autoria própria (2022).

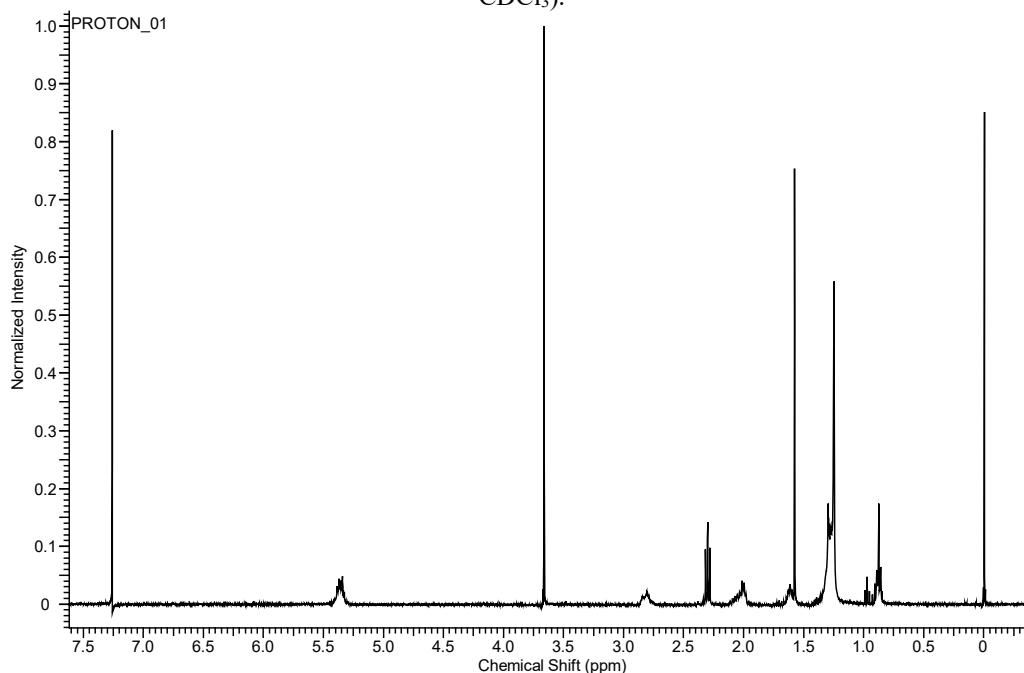
A massa molar média do óleo de tainha foi estimada em 871 g mol⁻¹, o que é próximo ao valor de 893 g mol⁻¹ encontrado por Cardoso e colaboradores em óleo de peixe comercial (CARDOSO *et al.*, 2019). O I_I do óleo de tainha foi estimado em 123 g I₂ por 100 g. O de óleo de soja, por sua vez, é 125 g I₂ por 100 g. O índice de saponificação de um óleo é utilizado para identificar a sua natureza e relaciona-se com sua massa molar. Quanto maior esta última, menor é o seu índice de saponificação (RAMALHO; SUAREZ, 2013; VIANNI; BRAZ-FILHO, 1996). O valor encontrado para o óleo de tainha foi de 193 mg KOH por g, intermediário aos relatados para outros óleos de peixe, de 181 (CARDOSO *et al.*, 2019) e 198 mg KOH por g (CHING-VELASQUEZ *et al.*, 2020), e semelhante ao do óleo de soja, que é 190 mg KOH por g (FERREIRA *et al.*, 2022).

A transesterificação metálica foi conduzida na presença de gliceróxido de sódio. O catalisador pode ser obtido do glicerol produzido como coproduto na reação de transesterificação. É estável, fácil de manipular, barato e produz o biodiesel com altos

rendimentos e teores de ésteres graxos (SANTOS, 2018). A transesterificação do óleo de tainha levou a um líquido límpido de coloração amarela clara com odor característico.

O espectro de RMN de Hidrogênio do biodiesel de óleo de tainha é apresentado na Figura 3.

Figura 3: Espectro de RMN de Hidrogênio do biodiesel metílico de óleo de tainha (Varian Oxford 400 MHz, CDCl₃).



Fonte: Autoria própria (2022).

O teor de ésteres graxos foi estimado em 99 %, superior, portanto, ao exigido pela ANP que é de 96,5 %. Cabe lembrar que a RMN fornece o teor em mol enquanto a especificação, a qual indica a cromatografia gasosa como técnica analítica, é expressa em massa. No caso do biodiesel, as duas expressões se equivalem.

A Tabela 3 apresenta propriedades do biodiesel obtido, dados da literatura para comparação e as especificações da ANP (RESOLUÇÃO ANP 45, 2014) para o biodiesel comercializado no país.

Tabela 3: Propriedades do biodiesel de óleo de tainha: massa específica a 20 °C (ρ), viscosidade cinemática a 40 °C (ν), ponto de fluidez (PP), teor de ésteres graxos (T_{EG}), massa molar média (M_M), número de ligações duplas por unidade de triglicerídeo (N_D), índice de iodo (I_I) e índice de saponificação (I_S).

	Tainha	Mix* (CARDOSO <i>et al.</i> , 2019)	Mix* (CHING-VELASQUEZ <i>et al.</i> , 2020)	Bacalhau (PAPARGYRIOU <i>et al.</i> , 2019)	Sardinha (KUMAR <i>et al.</i> , 2019)	Soja (SAJJADI <i>et al.</i> , 2016)	ANP (RESOLUÇÃO ANP 45)
ρ (g mL ⁻¹)	0,877 ± 0,009	0,885	0,89	0,888	0,859	0,882	0,85-0,90
ν (mm ² s ⁻¹)	4,12 ± 0,03	4,62	5,3		4,58	4,15	3 - 6
PP (°C)	3			-3		-3	
T_{EG} (%)	99 ± 2						96,5 (min)
M_M (g mol ⁻¹)	291 ± 1						
I_I (g I ₂ por 100 g)	119 ± 2	90				118	
I_S (mg KOH por g)	192,5 ± 0,9						

(*) mix – mistura de peixes, bacalhau – óleo de fígado de bacalhau.

Fonte: Autoria própria (2022).

A massa específica (ρ) a 20 °C do biodiesel foi estimada em 0,885 g mL⁻¹, valor típico e semelhante aos demais. De fato, a massa específica é uma propriedade que depende pouco da natureza da matéria prima. A viscosidade cinemática (ν) a 40 ° foi determinada como 4,12 mm² s⁻¹, ligeiramente inferior aos de outros biodieseis de peixes e semelhante ao do biodiesel derivado do óleo de soja. O ponto de fluidez (PP), por sua vez, foi estimado em 3 °C, 6 °C mais alto do que o do biodiesel de óleo de bacalhau e também do de óleo de soja. Comparado ao óleo da tainha, o biodiesel apresentou a viscosidade cinemática cerca de 8 vezes inferior. Tanto a viscosidade quanto a massa específica atendem as exigências da ANP. O ponto de fluidez, cabe lembrar, não é uma propriedade da tabela de especificações.

A massa molar média do biodiesel deve corresponder a, aproximadamente, um terço daquela observadas no óleo e sua composição descrita como teores de ácidos graxos deve ser semelhante à da matéria prima da qual foi obtida. Como os índices de iodo e de saponificação

são expressos por unidade de massa, por estas razões, é esperado que seus valores no óleo e no biodiesel sejam equivalentes. Considerando os intervalos de confiança, os resultados obtidos são semelhantes. O I_1 do biodiesel de tainha foi estimado em 119 g I_2 por 100 g. Os biodieseis de óleos de soja e de girassol, para comparação, são 125 e 132 g I_2 por 100 g (KUMAR *et al.*, 2012). É importante observar que o índice de iodo depende do número de ligações duplas, mas não se relaciona com os teores de cadeias mono, di ou poli-insaturadas, do que dependem outras propriedades.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O óleo de tainha é um resíduo gerado na cadeia de produção de pescados que, apesar do potencial como fonte de energia, não é aproveitado e o seu descarte inadequado pode criar riscos ao meio ambiente. O biodiesel, apesar de ser uma alternativa ao diesel fóssil consolidada no Brasil e no mundo, é economicamente pouco competitivo devido ao custo de suas matérias primas. O uso de fontes graxas residuais como o óleo de tainha na produção do biodiesel pode contribuir para reduzir o seu custo de produção, minimizar problemas ambientais e gerar renda para as cooperativas de pescadores. Neste trabalho, o óleo de vísceras de tainha foi isolado, caracterizado e transformado em biodiesel. A reação foi conduzida por rota metálica usando gliceroxido de sódio como catalisador e levou a um biodiesel com teor de ésteres graxos, viscosidade cinemática a 40 °C e massa específica a 20 °C atendendo as especificações do órgão regulamentador.

REFERÊNCIAS

ANTONIO, D. C.; AMANCIO, L. P.; ROSSET, I. G. Biocatalytic ethanolysis of waste chicken fat for biodiesel Production. **Catalysis Letters**, v. 148, n. 10, p. 3214–3222, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10562-018-2529-7>

ASTM D97-17, Standard test method for pour point of petroleum products. West Conshohocken: ASTM INTERNATIONAL, 2017.

ASTM D445-06, Standard test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquids. West Conshohocken: ASTM INTERNATIONAL, 2006.

CARDOSO, L. C. *et al.* Synthesis and optimization of ethyl esters from fish oil waste for biodiesel production. **Renewable Energy**, v. 133, p. 743–748, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.10.081>

CHING-VELASQUEZ, J. *et al.* Production and characterization of biodiesel from oil of fish waste by enzymatic catalysis. **Renewable Energy**, [s. l.], v. 153, p. 1346–1354, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.02.100>

DE OLIVEIRA, D. M. *et al.* Obtenção de biodiesel por transesterificação em dois estágios e sua caracterização por cromatografia gasosa: óleos e gorduras em laboratório de química orgânica. **Química Nova**, v. 36, n. 5, p. 734–737, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000500021>

DE OLIVEIRA, F. C.; COELHO, S. T. History, evolution, and environmental impact of biodiesel in Brazil: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 75, p. 168–179, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.060>

FERREIRA, P. G. *et al.* Aqui tem Química: Supermercado Parte I. Óleos e Gorduras. **Revista Virtual de Química**, v. 14, p. 185–199, 2022. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20220012>

GUZZATTO, R.; DE MARTINI, T. L.; SAMIOS, D. The use of a modified TDSP for biodiesel production from soybean, linseed and waste cooking oil. **Fuel Processing Technology**, v. 92, n. 10, p. 2083–2088, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.06.013>

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de Alimentos**. 4. ed. São Paulo: IAL, 2008.

KNOTHE, G.; RAZON, L. F. Biodiesel fuels. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 58, p. 36–59, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2016.08.001>

KUMAR, R. *et al.* ¹H nuclear magnetic resonance (NMR) determination of the iodine value in biodiesel produced from algal and vegetable oils. **Energy and Fuels**, v. 26, n. 11, p. 7005–7008, 2012. <https://doi.org/10.1021/ef300991n>

KUMAR, S. A. A. *et al.* Optimized transesterification reaction for efficient biodiesel production using Indian oil sardine fish as feedstock. **Fuel**, v. 253, p. 921–929, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.04.172>

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1596–1608, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000600044>

MARQUES, M. v. *et al.* A química, os processos de obtenção e as especificações do biodiesel. **Analytica**, v. 33, p. 72–87, 2008.

MENEGHETTI, S. M. P.; MENEGHETTI, M. R.; BRITO, Y. C. A reação de transesterificação, algumas aplicações e obtenção de biodiesel. **Revista Virtual de Química**, v. 5, p. 63, 2013. <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20130007>

PAINEL DINÂMICO ANP. [S. l.], 2021a. Disponível em: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiOTlkODYyODctMGJjNS00MGlyLWJmMWItNGJlNDg0ZTg5NjBlliwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTI0YTYtNGI0Mi1iN2VmLTEyNGFmY2FkYzkxMyJ9&pageName=ReportSection8aa0cee5b2b8a941e5e0%22>, acessado em: Set, 2022.

PAPARGYRIOU, D. *et al.* Investigation of solid base catalysts for biodiesel production from fish oil. **Renewable Energy**, v. 139, p. 661–669, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.124>

PAULINO, I. B. *et al.* Ponto de fluidez, viscosidade e densidade de biodieseis etílicos derivados de óleos e gorduras. *Em: TULLIO, L. (org.). Fontes de Biomassa e Potenciais de Uso 2.* Ponta Grossa: Atena, 2020. <https://doi.org/10.22533/at.ed.0742021078>

POUSA, G. A. G.; SANTOS, A. L. F.; SUAREZ, P. A. Z. History and policy of biodiesel in Brazil. **Energy Policy**, v. 35, p. 5393–5398, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.05.010>

RAMALHO, H. F.; SUAREZ, P. A. Z. A química dos óleos e gorduras e seus processos de extração e refino. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 1, p. 2–15, 2013. <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20130002>

RAMOS, L. P. *et al.* Biodiesel: raw materials, production technologies and fuel properties. **Revista Virtual de Química**, v. 9, p. 317, 2017. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170020>

REDA, S. Y.; CARNEIRO, P. I. B. Óleos e gorduras: aplicações e implicações. **Analytica**, [s. l.], v. 27, p. 60, 2007.

RESOLUÇÃO ANP 45 DE 25 DE AGOSTO DE 2014. Brasília, 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel/especificacao-do-biodiesel>, acessado em: Set, 2022.

REZENDE, M. J. C. *et al.* Biodiesel: an overview II. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 32, n. 7, p. 1301–1344, 2021. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20210046>

SAJJADI, B. *et al.* A comprehensive review on properties of edible and non-edible vegetable oil-based biodiesel: Composition, specifications, and prediction models. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 63, p. 62, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.035>

SANTOS, S. J. **Avaliação do gliceróxido de sódio como catalisador na transesterificação metílica de óleo de soja por planejamento experimental Doehlert a duas variáveis.** 2018. 32 p. Monografia (Bacharelado em Química Industrial) – Curso de Química, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2018.

STATISTA. **Leading biodiesel producers worldwide in 2021, by country**, 2022. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/271472/biodiesel-production-in-selected-countries/>, acessado em: Set, 2022.

SUAREZ, P. A. Z.; MENEGUETTI, S. M. P. 70º aniversário do biodiesel em 2007: Evolução histórica e situação atual no Brasil. **Química Nova**, v. 30, n. 8, p. 2068–2071, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000800046>

VIANNI, R.; BRAZ-FILHO, R. Ácidos graxos naturais: importância e ocorrência em alimentos. **Química Nova**, v. 19, p. 400, 1996. http://quimicanova.s bq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=4085, acessado em: Set, 2022.

CAPÍTULO 10

OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BODIESEL METILÍCO DE ÓLEOS DE AVES

Carmem Lisandra Couto da Silva
Samuel José Santos
Lucas Matheus Porto Costa
Luiz Antonio Mazzini Fontoura

RESUMO

O biodiesel é um biocombustível constituído por uma mistura de ésteres graxos obtidos por transesterificação de óleos e gorduras. Como substituto parcial ou total do diesel fóssil, entre outras vantagens, é renovável, biodegradável e contribui menos para a poluição ambiental. O principal custo de produção do biodiesel é a matéria prima. Por esta razão, é importante a busca de alternativas de menor custo. Óleos residuais da produção de alimentos são exemplos. Neste trabalho, óleos residuais do cozimento de cortes de frango e de pato foram purificados, caracterizados e transesterificados. Os óleos mostraram baixa acidez, permitindo a obtenção de biodiesel por catálise alcalina. A transesterificação metílica com o uso de gliceróxido de sódio conduziu a biodieseis com teores de ésteres graxos, viscosidades cinemáticas e massas específicas atendendo às exigências da legislação brasileira. A determinação dos índices de iodo e de saponificação indicaram a presença de ésteres graxos saturados em teores típicos de biodieseis de gorduras de origem animal e com cadeias majoritariamente de 18 carbonos.

PALAVRAS-CHAVE: Biodiesel. Óleo de aves. Transesterificação.

1. INTRODUÇÃO

As principais fontes de energia utilizadas no mundo são fósseis, como o petróleo, o gás natural e o carvão. As fontes fósseis foram formadas a partir da matéria orgânica ao longo de muito tempo, são esgotáveis e distribuídas de maneira desuniforme no planeta, concentrando-se em algumas regiões e ausente em outras. Os preços no mercado internacional oscilam em função de fatores geopolíticos e causam insegurança energética a alguns países e crises globais na economia. Além disso, o uso descontrolado de combustíveis derivados de fontes fósseis tem concentrado CO₂ na atmosfera causando problemas ambientais como o aquecimento global. As fontes renováveis, ao contrário, são aquelas cuja a produção é capaz de acompanhar o consumo. Entre muitos exemplos, estão as usinas hidrelétricas, os parques eólicos, a energia fotovoltaica e os combustíveis derivados de biomassa. De uma forma ou de outra, podem ser encontradas em qualquer região do planeta, seja explorando o potencial dos rios e mares, dos ventos, da radiação solar ou, ainda, produtos da agroindústria e resíduos de origem vegetal ou animal (GOLDEMBERG, 2009). Em 2021, 45 % da energia consumida no Brasil foi de origem renovável. Dados de 2019 mostram que no mundo, ao contrário do que ocorre no país, as fontes

renováveis não representam 15 % da matriz energética (EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2022).

Em 2021, entre os setores econômicos de produção e serviços, os transportes representaram 33 % da energia total consumida no país, enquanto as indústrias e a agropecuária contribuíram com 32 e 5 % respectivamente. Além de ser o setor que mais consome energia, os transportes também são os que mais emitem CO₂ para a atmosfera, principal causador do efeito estufa. Embora o Brasil se destaque no cenário internacional pelo uso de fontes renováveis de energia, o sistema de transportes continua muito dependente dos combustíveis fósseis, os quais, em 2021, tiveram uma participação de 82 % no total consumido (EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2022).

Biocombustíveis são derivados de biomassa e podem, em muitos casos, substituir os fósseis como os derivados de petróleo, com muitas vantagens. Além de renováveis, são, em geral, biodegradáveis, e causam menos problemas para o meio ambiente. O etanol e o biodiesel são dois exemplos. O primeiro é obtido do açúcar da cana e é utilizado principalmente em veículos leves associado ou substituindo a gasolina. O segundo, por sua vez, é derivado de óleos e gorduras e encontra emprego em veículos de carga ou de transporte humano em misturas com o diesel (SUAREZ *et al.*, 2009). O etanol participou com 17 % no total de combustíveis consumido no país em 2021, enquanto o biodiesel, de forma mais discreta, com apenas 5 % (EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2022). O principal fator que impede o crescimento da participação destes combustíveis é o custo.

Com relação ao biodiesel, estima-se que 80 % do custo de produção corresponda às fontes graxas empregadas (KNOTHE; RAZON, 2017). Em 2021, o óleo de soja representou dois terços da matéria prima consumida no país na produção de biodiesel. Embora o Brasil seja um grande produtor de óleo de soja, seu preço é determinado pelo mercado internacional. Neste sentido, é importante a busca por matérias primas alternativas e de baixo custo. O sebo bovino é um exemplo, mas, no mesmo ano, teve uma participação modesta de apenas 8 %. Gorduras de frango e porco ou óleos residuais de fritura são ainda mais subutilizadas (PAINEL DINÂMICO ANP, 2021).

Em 2021, o Brasil ocupou a posição de terceiro maior produtor e de primeiro maior exportador de aves de corte do mundo (EMBRAPA, 2022). As gorduras de frango são separadas, em geral, no aviário, a partir dos cortes brutos e crus. O cozimento de cortes de frango, por outro lado, produz um óleo residual cujo potencial econômico não é explorado e,

mais ainda, é descartado de forma incorreta contribuindo para a degradação do meio ambiente. Neste trabalho, óleos residuais do assamento de cortes de frango e pato foram isolados, purificados e caracterizados. Além disso, seu potencial como matéria prima para a obtenção do biodiesel foi avaliado.

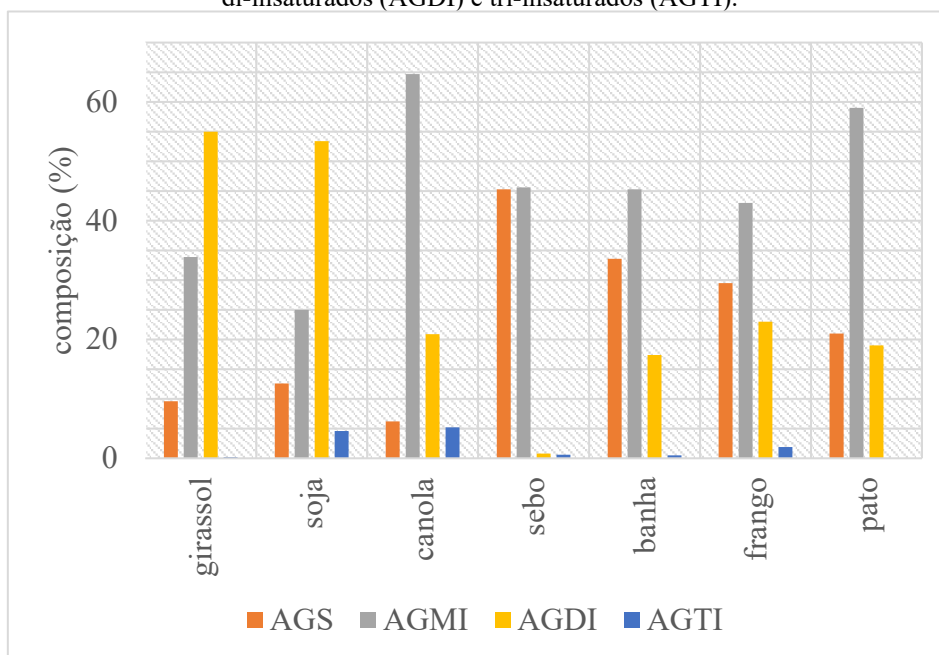
2. PARTE TEÓRICA

2.1. Os óleos e as gorduras

Os principais constituintes dos óleos e das gorduras são os triglicerídeos (TG), ésteres de ácidos graxos com o glicerol. Os ácidos graxos apresentam estruturas variadas, porém com algumas características comuns. As cadeias são lineares e em número par com tamanhos que variam de 4 a 24 átomos de carbono e podem ser saturadas ou insaturadas. Neste último caso, as ligações duplas têm geometria *cis* e variam de uma a quatro. Diferentes ácidos graxos combinam-se em arranjos e combinações variadas (FERREIRA *et al.*, 2022; RAMALHO; SUAREZ, 2013; VIANNI; BRAZ-FILHO, 1996). A Figura 1 apresenta as composições de óleos vegetais e gorduras de origem animal, incluindo as de frango e pato (DE OLIVEIRA *et al.*, 2013a; HOEKMAN *et al.*, 2012; ISSARIYAKUL; DALAI, 2014a; SAJJADI *et al.*, 2016).

Os óleos são líquidos na temperatura ambiente e ricos em ácidos graxos insaturados. As gorduras, por sua vez, são sólidas na temperatura ambiente e os ácidos graxos saturados (AGS) são superiores a 30 %, em geral. De fato, a Figura 1 mostra o contraste entre os óleos de girassol, canola e soja, e as gorduras bovina e suína. Os óleos de frango e pato apresentam composições intermediárias, com triglicerídeos saturados no intervalo de 20 a 30 %. Ácidos graxos di (AGDI) e tri-insaturados (AGTI) estão quase ausentes no sebo bovino, mas variam na faixa de 17 a 25 % na banha e nos óleos de aves. Entre os óleos de origem vegetal, o de canola chama a atenção pelo seu alto teor de ácidos graxos monoinsaturados, 65 %.

Figura 1: Composição de óleos e gorduras, teores de ácidos graxos saturados (AGS), monoinsaturados (AGMI), di-insaturados (AGDI) e tri-insaturados (AGTI).



Fonte: Autoria própria (2022).

2.2. O biodiesel e a reação de transesterificação

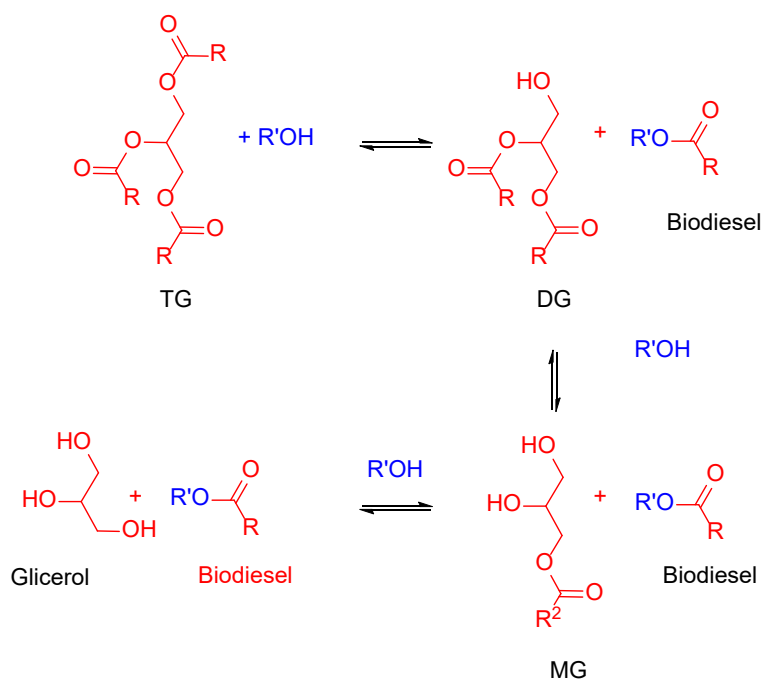
No princípio do século XX, Rudolf Diesel, o inventor do motor de combustão interna com ignição por compressão, sugeriu que, além de derivados do petróleo, óleos de origem vegetal poderiam ser utilizados como combustíveis. Com os sucessivos avanços no motor que recebeu o nome de seu inventor, os óleos mostraram-se pouco apropriados para aquela finalidade, pois deixavam resíduos de carbono devido à dificuldade de queima pela pouca volatilidade e a alta viscosidade, exigindo, desta forma, manutenções periódicas e a diminuição da vida útil da máquina. Além disso, com o rápido avanço da indústria de petróleo, os óleos vegetais mostraram-se economicamente pouco competitivos (DE OLIVEIRA; COELHO, 2017; POUSA; SANTOS; SUAREZ, 2007; SUAREZ; MENEGUETTI, 2007).

O biodiesel é constituído por uma mistura de ésteres graxos obtidos por transesterificação de triacilgliceróis. A reação ocorre na presença de um catalisador e um álcool de cadeia curta. Nesta reação, ocorre a cisão das estruturas que formam os triglicerídeos, reduzindo assim a viscosidade (DE OLIVEIRA; COELHO, 2017; POUSA; SANTOS; SUAREZ, 2007; SUAREZ; MENEGUETTI, 2007). A reação envolvida neste processo é conhecida há quase um século. Charles George Chavanne depositou a primeira patente deste processo, em 31 de agosto de 1937 na Bélgica, utilizando óleo de palma (dendê) como fonte graxa, etanol como agente de transesterificação e ácido sulfúrico como catalisador. O Esquema 1 apresenta as etapas da reação de transesterificação de triglicerídeos para a obtenção do

biodiesel (DE OLIVEIRA; COELHO, 2017; POUSA; SANTOS; SUAREZ, 2007; SUAREZ; MENEGUETTI, 2007).

Em tese, qualquer fonte graxa pode ser empregada na obtenção do biodiesel, desde que a mistura de ésteres graxos obtida atenda às normas de qualidade (RESOLUÇÃO ANP 45, 2014). Com a finalidade de aproximar as propriedades dos ésteres graxos formados às dos hidrocarbonetos que compõem o diesel, álcoois de cadeia curta são utilizados, principalmente metanol e etanol. Utilizar excesso de álcool é uma estratégia para aumentar a conversão da matéria prima em produtos (DE OLIVEIRA; COELHO, 2017; POUSA; SANTOS; SUAREZ, 2007; SUAREZ; MENEGUETTI, 2007).

Esquema 1: Etapas da reação de transesterificação de triglicerídeos para a obtenção do biodiesel.



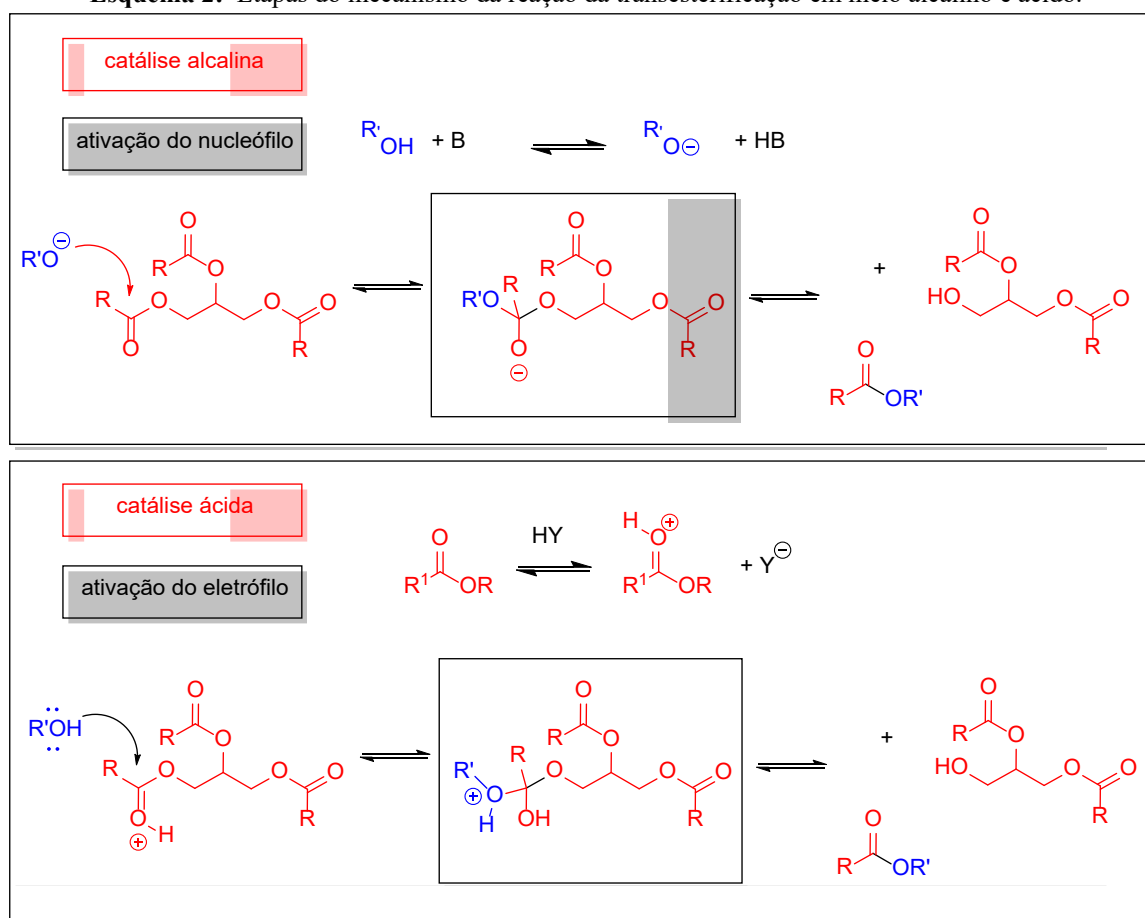
Fonte: Autoria própria (2022).

A transesterificação é uma alcoólise. Na reação completa, 1 mol de triacilglicerol consome 3 mol de álcool. Mono e diacilgliceróis são os intermediários formados. Além do biodiesel como produto principal da reação de transesterificação, glicerol é formado como coproduto (MARQUES *et al.*, 2008; RAMOS *et al.*, 2017).

As etapas principais do mecanismo da reação de transesterificação em meios alcalino e ácido são apresentadas no Esquema 2. Triacilgliceróis são ésteres e, como tais, reagem com nucleófilos por substituição nucleofílica acídica. As constantes de equilíbrio são moderadas. Qualquer que seja a catálise, em ambos os mecanismos de reação, é formado um intermediário

tetraédrico (DE OLIVEIRA; COELHO, 2017; POUSA; SANTOS; SUAREZ, 2007; SUAREZ; MENEGUETTI, 2007).

Esquema 2: Etapas do mecanismo da reação da transesterificação em meio alcalino e ácido.

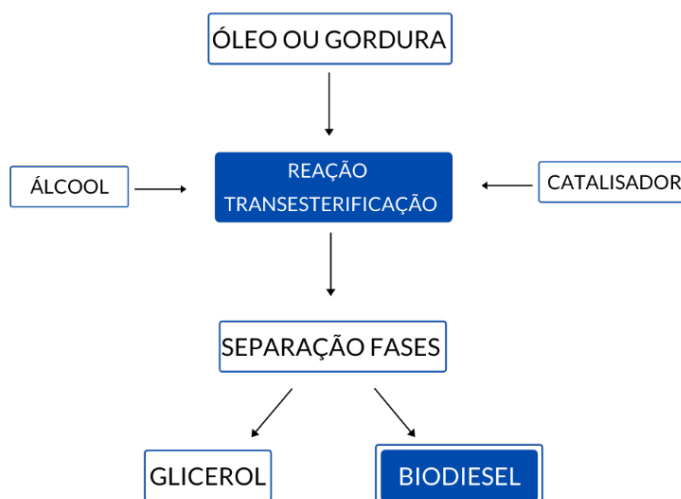


Fonte: Autoria própria (2022).

Além das naturezas da fonte graxa, do álcool e do catalisador, variáveis como, razão molar triglicerídeo/álcool, temperatura, teor de ácido graxo livre e efeito da agitação são importantes para o processo de transesterificação. O processo industrial para a obtenção de biodiesel a partir de triglicerídeos é bem conhecido. Industrialmente, o metanol é o álcool mais utilizado no processo, pois é mais barato do que o etanol. O catalisador mais empregado é o metóxido de sódio. Na Figura 2, são apresentadas as etapas envolvidas no processo de obtenção do biodiesel (DE OLIVEIRA; COELHO, 2017; POUSA; SANTOS; SUAREZ, 2007; SUAREZ; MENEGUETTI, 2007).

A reação de transesterificação ocorre com a adição do álcool e o catalisador na matéria-prima. Após o fim da reação, a mistura é deixada em repouso para que ocorra a separação das fases dos produtos obtidos. A fase superior corresponde ao produto principal, o biodiesel, e a fase inferior o coproduto, glicerol, excesso de álcool que não reagiu e resíduo do catalisador.

Figura 2: Etapas envolvidas no processo de obtenção do biodiesel de óleos vegetais.



Fonte: Autoria própria (2022).

3. PARTE EXPERIMENTAL

3.1. Isolamento, purificação e caracterização das gorduras de aves

Coxas das asas de frango e de pato congeladas foram adquiridas no mercado local. Os alimentos foram assados em forno elétrico a 250 °C por 30 min sobre bandeja de alumínio. Após o final do assamento, a gordura fundida foi separada dos alimentos sólidos e armazenada congelada. No laboratório, foi fundida, filtrada e a fase aquosa, separada. Por fim, o óleo foi seco a 100 °C sobre chapa de aquecimento por 1 h.

A 20 °C, os óleos apresentaram sedimentos e, por esta razão, as massas específicas não foram determinadas. As viscosidades cinemáticas a 40 °C foram estimadas em um tubo Cannon-Fenske segundo o método descrito na norma ASTM D455-06 (ASTM INTERNATIONAL, 2006). O ponto de fluidez foi medido em um determinador PP-IBP mod. 2018 segundo o método descrito na norma ASTM D97-17 com resfriamento em banho de gelo seco-etanol (ASTM INTERNATIONAL, 2017). O índice de acidez do óleo foi determinado por titulometria de neutralização segundo o procedimento do Instituto Adolf Lutz usando fenolftaleína como indicador e NaOH aq. 0,05 mol L⁻¹ (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008). Todos os ensaios foram realizados em triplicata com resultados expressos como intervalos de confiança (95 %, n = 3), exceto o ponto de fluidez, que foi medido em duplicata.

3.2. Obtenção e caracterização do biodiesel

O biodiesel foi obtido pelo protocolo descrito por Santos (SANTOS, 2018). Em um balão de fundo redondo conectado a um condensador de refluxo, foram introduzidos 30 g do

óleo pré-aquecido a 50 °C, seguidos de 1,5 g de gliceroxido de sódio e 20 mL de MeOH. A mistura foi agitada por 1 h na temperatura de refluxo. A seguir, a mistura foi transferida para um funil de separação para a separação das fases. A fase mais densa, o glicerol, foi descartada e a superior, o biodiesel, foi lavada com água a 70 °C (3 x 25 mL). Por fim, o biodiesel foi aquecido em chapa com agitação magnética a 100 °C por 60 min para a eliminação dos voláteis. As viscosidades cinemáticas a 40 °C foram estimadas usando o mesmo procedimento aplicado aos óleos e as massas específicas a 20 °C foram determinadas em balões volumétricos de 10 mL.

Os teores de ésteres graxos do biodiesel foram estimados por RMN-¹H em um espectrômetro Varian Oxford operando a 400 MHz em CDCl₃ (GUZZATTO; DE MARTINI; SAMIOS, 2011) pela equação 1,

$$T_{EG} = 100 \times \frac{2}{3} \times \frac{A_{3,7}}{A_{2,3}} \quad (1)$$

na qual

$A_{3,7}$ é a área do simpleto em 3,7 ppm

$A_{2,3}$ é a área do tripleto em 2,3 ppm.

As massas molares médias (M_M) dos óleos e dos biodieseis foram determinadas pelas equações 2 e 3, respectivamente,

$$M_M = 218 + 26 \times \frac{A_{5,4}}{A_{2,3}} + 14 \times \frac{A_{2,7-1,3}}{A_{2,3}} \quad (2)$$

$$M_M = 74 + 26 \times \frac{A_{5,4}}{A_{2,3}} + 14 \times \frac{A_{2,7-1,3}}{A_{2,3}} \quad (3)$$

nas quais,

$A_{5,4}$ é a área do multipeto em 5,4 ppm

$A_{2,3}$ é a área do tripleto em 2,3 ppm.

$A_{2,7-1,3}$ é o somatório das áreas dos multipetos na região de 2,7 a 1,3 ppm.

Os índices de iodo (I_I) e de saponificação (I_S) do óleo foram determinados pelas equações 4 e 5,

$$I_I = 76.142,4 \times \frac{A_{5,4}}{A_{2,3} \times M_M} \quad (4)$$

$$I_S = 3000 \times \frac{56,10}{M_M} \quad (5).$$

Os índices de iodo (I_I) e de saponificação (I_S) do biodiesel foram determinados pelas equações 6 e 7,

$$I_I = 25.380,8 \times \frac{A_{5,4}}{A_{2,3} \times M_M} \quad (6)$$

$$I_S = 1000 \times \frac{56,10}{M_M} \quad (7).$$

As composições expressas como teores de ésteres saturados (CX:0), monoinsaturados (CX:1), di-insaturados (CX:2) e tri-insaturados (CX:3) foram estimadas por RMN-¹H (SCHAUMLÖFFEL *et al.*, 2021). pelas equações 8 a 11,

$$CX:3 = \frac{2}{3} A_{0,9} \quad (8)$$

$$CX:2 = A_{2,8} - CX:3 \quad (9)$$

$$CX:1 = A_{2,0} - 2 \times CX:2 - 2 \times CX:3 \quad (10)$$

$$CX:0 = 100 - CX:1 - CX:2 - 2 \times CX:3 \quad (11)$$

nas quais:

$A_{0,9}$ é a área do tripleto em \square 0,9 (metila homalílica)

$A_{2,8}$ é a área do multiplete em \square 2,8 (metileno *bis*-alílico)

$A_{2,0}$ é a área do multiplete em \square 2,0 (metileno alílico).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os óleos residuais provenientes do processo de assamento de cortes de frango e de pato em forno elétrico foram recebidos no laboratório na forma bruta como uma mistura bifásica. Ao final do processo de purificação, um óleo límpido e livre de sedimentos com cor amarela foi obtido.

A tabela 1 apresenta as propriedades dos óleos de frango e de pato.

Tabela 1: Propriedades dos óleos residuais de frango e pato: índice de acidez (IA), viscosidade cinemática (n) a 40 °C e ponto de fluidez (PP).

	Pato	Frango
IA (mg KOH g ⁻¹)	0,8 ± 0,2	0,9 ± 0,2
n (mm ² L ⁻¹)	34,6 ± 0,3	33,8 ± 0,1
PP (°C)	9	6

Fonte: Autoria própria (2022).

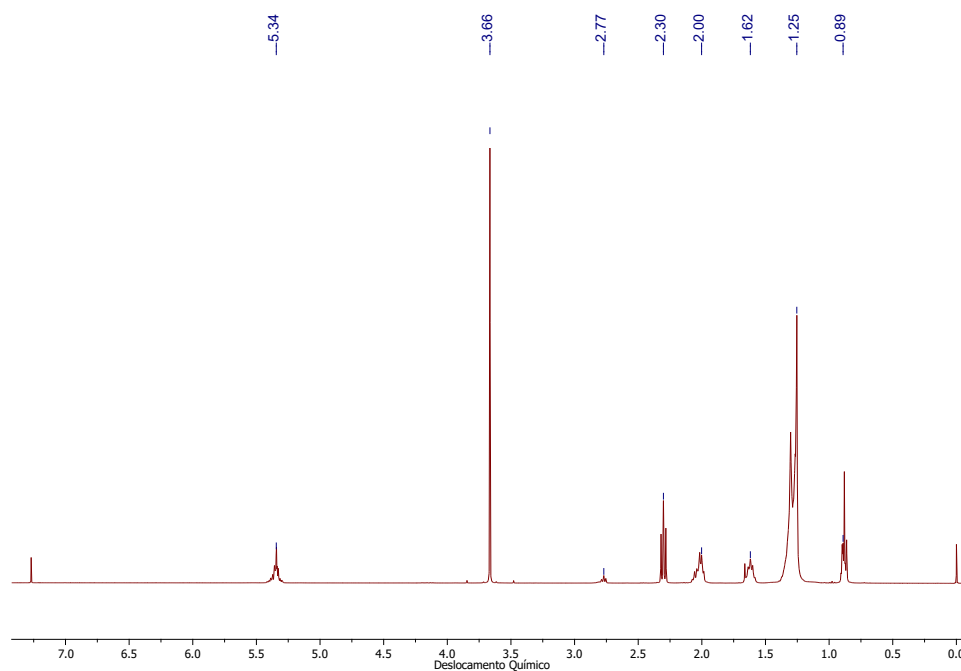
Os índices de acidez dos óleos de pato e de frango foram estimados em 0,8 e 0,9 mg KOH g⁻¹ de amostra respectivamente, o que, em parte, surpreendeu, pois os resíduos foram obtidos através do assamento em forno, o que os expôs à temperatura elevada e umidade, facilitando a hidrólise dos triglicerídeos. O índice de acidez é uma propriedade essencial para a escolha do procedimento de transesterificação, pois define qual o tipo de catálise deve ser utilizado. O gliceróxido de sódio tem sido utilizado em óleos refinados, brutos, gorduras comerciais ou purificadas com índices de acidez de até 2 mg KOH g⁻¹ de amostra, em transesterificações metálica e etílica.

As massas específicas a 20 °C não foram determinadas, pois nesta temperatura o óleo, apresenta sólidos sedimentados. As viscosidades cinemáticas foram estimadas em 35 e 34 mm² s⁻¹ para os óleos de pato e de frango respectivamente, semelhantes às dos óleos de arroz, 34 mm² s⁻¹, e de algodão, 34 mm² s⁻¹, e superiores às dos óleos de soja, 29 mm² s⁻¹, e de girassol, 29,1 mm² s⁻¹ (BROCK *et al.*, 2008).

As transesterificações metálicas dos óleos de frango e de pato foram conduzidas com catálise alcalina com gliceróxido de sódio. O catalisador é misturado no álcool e mostra-se pouco solúvel a frio, mas solúvel a quente. As condições ótimas de reação indicam uma razão molar de 12:1 e uma massa de catalisador de 2 %, ambas com relação ao triglicerídeo (SANTOS, 2018). O catalisador tem as vantagens de ser estável, pouco higroscópico, fácil de manipular e barato.

A Figura 2 apresenta o espectro de RMN de Hidrogênio do biodiesel de óleo de pato.

Figura 2: Espectro de RMN de Hidrogênio do biodiesel de óleo de pato (Varian Oxford 400 MHz, CDCl₃).



Fonte: Autoria própria (2022).

Os diversos multipletos foram atribuídos aos seguintes tipos de hidrogênio (atribuição, d): vinílicos, 5,3; metoxila, 3,7; *bis*-alílicos, 2,8; α -carbonílicos, 2,3; alílicos, 2,0; α -carbonílicos, 1,6; metilenos, 1,3; metila, 0,9. Dos espectros de RMN de Hidrogênio, foram obtidos os teores de ésteres graxos (T_{EG}), as massas molares médias (M_M) e os índices de iodo (I_I) e de saponificação (I_S). A Tabela 2 apresenta as propriedades dos biodieseis de óleos de pato e de frango e dados da literatura para comparação (BANKOVIC-ILIÉ *et al.*, 2014; DE OLIVEIRA *et al.*, 2013; ISSARIYAKUL; DALAI, 2014).

Os teores de ésteres graxos dos biodieseis metílicos de óleos de pato e de frango foram estimados nos valores entre 96,5 e 97 %, e, segundo a legislação brasileira, o menor valor admitido para a comercialização do biodiesel é 96,5 % (RESOLUÇÃO ANP 45, 2014).

O índice de iodo (I_I), conceitualmente, corresponde à massa de I₂ consumida por 100 g de amostra por adição eletrofílica sobre as ligações duplas de triglicerídeos ou do biodiesel e, em outras palavras, é um indicador do teor de cadeias insaturadas na amostra. Biodieseis ou óleos mais insaturados têm maior tendência à degradação por oxidação ao ar. Em ambos os biodieseis, o I_I foi estimado em 73 g I₂ por 100 g de amostra, valores marcadamente inferiores aos dos biodieseis de algodão e soja e ligeiramente menor do que o de banha.

Tabela 2: Caracterização dos biodieseis derivados dos óleos de pato e de frango, algodão, soja e banha: teores de ésteres graxos (T_{EG}), de cadeias tri-insaturadas (CX:3), di-insaturadas (CX:2), monoinsaturadas (CX:1) e saturadas (CX:0), massa molar média (M_M), índice de iodo (I_I) e de saponificação (I_S).

	Pato	Frango	Algodão	Soja	Banha
T_{EG} (%)	97 ± 1	96,5 ± 0,2			
M_M (g mol ⁻¹)	290 ± 3	300 ± 2			
I_I (g I ₂ /100 g)	73 ± 1	73 ± 1	105,0	134,6	77
I_S (mg KOH /g)	194 ± 2	187 ± 1	195,2	190,7	195
CX:3	1,3 ± 0,6	0,6 ± 0,1	1,0	4,6	0,5
CX:2	16 ± 1	12 ± 2	54	53,4	17,4
CX:1	50 ± 1	55 ± 2	20	25,0	45,3
CX:0	32 ± 1	32,5 ± 0,5	26	12,6	33,6

Fonte: Autoria própria (2022).

O índice de saponificação (I_S), por sua vez, corresponde à massa de KOH em mg necessária para saponificar 1 g de triglicerídeos ou de biodiesel e relaciona-se à massa molar média. Quanto maior o primeiro, mais baixa é a segunda. Os I_S dos biodieseis de óleos de frango e de pato foram estimados em 194 e 187 mg KOH por g de amostra respectivamente. próximos àqueles relatados para os biodieseis de óleos de soja e de algodão. Sendo assim, pode-se inferir que os ésteres graxos que compõem os biodieseis de aves devem apresentar cadeias majoritariamente de 18 carbonos, a exemplo do que ocorre com os biodieseis derivados dos óleos citados.

Com relação à composição, os biodieseis de óleos de pato e frango são formados por ésteres graxos majoritariamente monoinsaturados, 50 e 55 % respectivamente, contendo, também, 32 % de cadeias saturadas. Comparados ao biodiesel de banha, os teores de CX:1 são superiores e os de CX:2, inferiores, o que justifica os I_I mais baixos.

A Tabela 3 apresenta as propriedades físicas dos biodieseis (DE OLIVEIRA *et al.*, 2013; PAULINO *et al.*, 2020). As massas específicas (r) a 20 °C foram estimadas em 0,87 g mL⁻¹, valor típico para biodieseis metílicos, visto que a propriedade, de uma maneira geral, depende pouco da natureza da matéria prima. A tabela brasileira de especificações determina que o intervalo de 0,85 a 0,90 g mL⁻¹. As viscosidades cinemáticas a 40 °C foram determinadas como 4,2 e 4,7 mm² s⁻¹. A especificação estabelece o intervalo de 3 a 6 e valores típicos são encontrados entre 4 e 5 mm² s⁻¹. Os pontos de fluidez (PP) foram estimados em 6 °C em ambos os biodieseis, semelhantes ao derivado do óleo de algodão e superior ao de soja. Considerando que a resolução da técnica é de 3 °C, não há diferença com o PP do biodiesel de banha, o que é

esperado em razão da semelhança das composições. O PP não é um parâmetro de especificação do biodiesel.

Tabela 3: Caracterização dos biodieseis derivados dos óleos de pato e de frango, algodão, soja e banha: viscosidade cinemática a 40 °C (ν), massa específica a 20 °C (ρ), e ponto de fluidez (PP).

	Pato	Frango	Algodão	Soja	Banha
ρ (g mL ⁻¹)	0,873 ± 0,009	0,870 ± 0,009	0,874	0,877	0,865
ν (mm ² s ⁻¹)	4,17 ± 0,01	4,68 ± 0,01	4,52	4,58	5,17
PP (°C)	6	6	6	-3	9

Fonte: Autoria própria (2022).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Assim como o óleo de fritura usado, óleos gerados no assamento de carnes são pouco aproveitados e podem causar poluição se descartados de forma incorreta. O Brasil é um dos países que mais produzem carne de aves no mundo, e os resíduos produzidos por cortes consumidos poderiam ser aproveitados para a produção de energia. Neste trabalho, óleos separados do assamento de cortes de pato e frango foram isolados, purificados e caracterizados. A baixa acidez sugere seu aproveitamento na produção de biodiesel por catálise alcalina. Submetido à transesterificação com catálise por gliceróxido de sódio, os óleos de pato e frango produziram biodieseis com teor de ésteres graxos, massa específica a 20 °C e viscosidade cinemática a 40 °C atendendo às exigências da legislação brasileira.

As matérias primas mais consumidas no país para a produção de biodiesel são o óleo de soja e o sebo bovino. Em função da composição, ao biodiesel derivado do primeiro é atribuída uma baixa estabilidade à oxidação. O obtido do último, por sua vez, com alto teor de ésteres graxos saturados, é estável ao ar, mas cristaliza em temperaturas mais baixas, o que é uma desvantagem. Os biodieseis de óleos de pato e frango têm composição e propriedades intermediárias aos dois, o que sugere a otimização das propriedades e a minimização das desvantagens.

REFERÊNCIAS

ASTM D97-17, Standard test method for pour point of petroleum products. West Conshohocken: ASTM INTERNATIONAL, 2017.

ASTM D445-06, Standard test method for kinematic viscosity of transparent and opaque liquids. West Conshohocken: ASTM INTERNATIONAL, 2006.

BANKOVIC-ILIĆ, I. B. *et al.* Waste animal fats as feedstocks for biodiesel production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 32, p. 238–254, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.038>

BROCK, J. *et al.* Determinação experimental da viscosidade e condutividade térmica de óleos vegetais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 564–570, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300010>

DE OLIVEIRA, D. M. *et al.* Obtenção de biodiesel por transesterificação em dois estágios e sua caracterização por cromatografia gasosa: óleos e gorduras em laboratório de química orgânica. **Química Nova**, v. 36, n. 5, p. 734–737, 2013. 734–737, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422013000500021>

DE OLIVEIRA, F. C.; COELHO, S. T. History, evolution, and environmental impact of biodiesel in Brazil: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 75, p. 168–179, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.060>

EMBRAPA. **Embrapa suínos e aves**, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/>, acessado em: Set 2022.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional, Relatório Síntese 2022**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2022.

<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>, acessado em: Set ,2022.

FERREIRA, P. G. *et al.* Aqui tem Química: Supermercado Parte I. Óleos e Gorduras. **Revista Virtual de Química**, v. 14, p. 185–199, 2022. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20220012>

GOLDEMBERG, J. Biomassa e energia. **Química Nova**, v. 32, p. 582–587, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000300004>

GUZATTO, R.; DE MARTINI, T. L.; SAMIOS, D. The use of a modified TDSP for biodiesel production from soybean, linseed and waste cooking oil. **Fuel Processing Technology**, v. 92, n. 10, p. 2083–2088, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.06.013>

HOEKMAN, S. K. *et al.* Review of biodiesel composition, properties, and specifications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 1, p. 143–169, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.143>

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de Alimentos**. 4. ed. São Paulo: IAL, 2008.

ISSARIYAKUL, T.; DALAI, A. K. Biodiesel from vegetable oils. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 31, p. 446–471, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.001>

KNOTHE, G.; RAZON, L. F. Biodiesel fuels. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 58, p. 36–59, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2016.08.001>

MARQUES, M. v. *et al.* A química, os processos de obtenção e as especificações do biodiesel. **Analytica**, v. 33, p. 72–87, 2008.

PAINEL DINÂMICO ANP. [S. l.], 2021. Disponível em:

<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiOTlkODYyODctMGJjNS00MGlyLWJmMWItNGJlNDg0ZTg5NjBliiwidCI6IjQ0OTlmNGZmLTI0YTYtNGI0MiliN2VmLTEyNGFmY2FkYzkxMyJ9&pageName=ReportSection8aa0cee5b2b8a941e5e0%22>, acessado em: Set, 2022.

PAULINO, I. B. *et al.* Ponto de fluidez, viscosidade e densidade de biodieseis etílicos derivados de óleos e gorduras. *Em: TULLIO, L. (org.). Fontes de Biomassa e Potenciais de Uso 2*. Ponta Grossa: Atena, 2020, p. 293–300. <https://doi.org/10.22533/at.ed.0742021078>

POUSA, G. A. G.; SANTOS, A. L. F.; SUAREZ, P. A. Z. History and policy of biodiesel in Brazil. *Energy Policy*, v. 35, p. 5393–5398, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.05.010>

RAMALHO, H. F.; SUAREZ, P. A. Z. A química dos óleos e gorduras e seus processos de extração e refino. *Revista Virtual de Química*, v. 5, n. 1, p. 2–15, 2013. <http://dx.doi.org/10.5935/1984-6835.20130002>

RAMOS, L. P. *et al.* Biodiesel: raw materials, production technologies and fuel properties. *Revista Virtual de Química*, [s. l.], v. 9, p. 317, 2017. <https://doi.org/10.21577/1984-6835.20170020>

RESOLUÇÃO ANP 45 DE 25 DE AGOSTO DE 2014. Brasília, 2014. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/biodiesel/especificacao-do-biodiesel>, acessado em: Set, 2022.

SAJJADI, B. *et al.* A comprehensive review on properties of edible and non-edible vegetable oil-based biodiesel: Composition, specifications, and prediction models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 63, p. 62, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.035>

SANTOS, S. J. **Avaliação do gliceróxido de sódio como catalisador na transesterificação metílica de óleo de soja por planejamento experimental Doehlert a duas variáveis**. 2018. 32 p. Monografia (Bacharelado em Química Industrial) – Curso de Química, Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2018.

SCHAUMLÖFFEL, L. S. *et al.* Vegetable tannins-based additive as antioxidant for biodiesel. *Fuel*, v. 292, p. 120198, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120198>

SUAREZ, P. A. Z. *et al.* Biocombustíveis a partir de óleos e gorduras: desafios tecnológicos para viabilizá-los. *Química Nova*, v. 32, n. 3, p. 768–775, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422009000300020>

SUAREZ, P. A. Z.; MENEGUETTI, S. M. P. 70º aniversário do biodiesel em 2007: Evolução histórica e situação atual no Brasil. *Química Nova*, v. 30, n. 8, p. 2068–2071, 2007.

<https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000800046>

VIANNI, R.; BRAZ-FILHO, R. Ácidos graxos naturais: importância e ocorrência em alimentos. *Química Nova*, v. 19, p. 400, 1996. http://quimicanova.sbq.org.br/detalhe_artigo.asp?id=4085, acessado em: Set, 2022.

CAPÍTULO 11

RESÍDUOS DE SERVIÇO DE SAÚDE: DESAFIOS E PERSPECTIVAS PARA SUA VALORIZAÇÃO

Maria Clara dos Santos Lopes
Kátia Valéria Marques Cardoso Prates

RESUMO

Os Resíduos Sólidos gerados na área da saúde, podem apresentar potencial para voltar a cadeia produtiva por meio da Economia Circular, além de ser uma alternativa para geração de renda extra. Nesse contexto, objetivou-se realizar um mapeamento dos principais Resíduos de Serviço de Saúde (RSS) gerados em Hospitais Universitários (HU) e a partir destes dados, realizar um mapeamento sistemático da literatura para identificar: i) os principais desafios no gerenciamento de resíduos de serviços de saúde, e ii) as perspectivas de valorização desses resíduos na cadeia produtiva para consolidar a economia circular. Para analisar os principais RSS utilizou-se os Planos de Gerenciamentos de Resíduos Sólidos de HUs e para os principais desafios na gestão de RSS e perspectivas de valorização, realizou-se um mapeamento sistemático nas plataformas Web of Science e Scientific Electronic Library (SciELO) e Periódicos da CAPES. Para os desafios na gestão de RSS foram analisados 5 trabalhos acadêmicos e para a perspectivas de valorização 10. Percebeu-se que o principal desafio está relacionado a segregação de resíduos sólidos. Para a valorização dos resíduos, foram encontradas alternativas para a reutilização dos mesmos, consolidando a economia circular.

PALAVRAS-CHAVE: Economia circular. Mapeamento Sistemático. Plano de Gerenciamento de Resíduos de Serviços da Saúde. Resíduos de Serviços da Saúde.

1. INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305/2010 classifica os Resíduos de Serviços de Saúde (RSS), como aqueles que são gerados nos serviços de saúde. De acordo com a Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) nº 228, de 23 de maio de 2018, os geradores de RSS são todos os serviços que estão relacionados com atendimento à saúde humana ou animal, sendo os principais geradores de RSS estabelecimentos como hospitais, necrotérios, laboratórios analíticos, clínicas, unidades móveis de atendimento à saúde, entre outros serviços.

A RDC 228/2018 estabelece que todo gerador de RSS deve dispor de um Plano de Gerenciamento de RSS (PGRSS), contendo as regulamentações federais, estaduais, municipais ou do Distrito Federal. O PGRSS tem como objetivo reduzir ou eliminar a geração de resíduos, tendo em vista a proteção de trabalhadores, meio ambiente e saúde pública. Deve descrever os resíduos gerados no estabelecimento, assim como sua classificação de risco, atividades de manejo e acondicionamento, ações preventivas e destinação final.

A geração de RSS no Brasil, segundo dados do relatório da ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2021), totalizou cerca de 290

mil toneladas de RSS coletadas no ano de 2020. Este valor representa um aumento de quase 15% quando comparado a 2019 (253 mil toneladas), devido ao aumento de internações hospitalares e atendimentos à saúde em razão a pandemia Covid-19.

A destinação final adequada destes RSS, segundo o relatório da ABRELPE (2021) representa 70% de todo o resíduo coletado. Destes resíduos destinados adequadamente, 43,4% são incinerados, 21,6% são destinados a autoclave e 4,8% a incineração. Cabe destacar que cerca de 30% dos RSS coletados pelos municípios não apresentam tratamento prévio antes do descarte, opondo-se a legislação e colocando em riscos à saúde pública e meio ambiente.

No entanto, muitos destes resíduos gerados na área da saúde, apresentam potencial para voltar a cadeia produtiva por meio da Economia Circular. Este modelo econômico é uma alternativa a economia linear, em que a principal característica é reduzir a extração de recursos naturais, melhorar os processos de reutilização e tornar os processos produtivos mais eficientes (CNI, 2018). Sendo assim, entende-se que a Economia Circular é um modelo de produção que tem como objetivo práticas que visam a sustentabilidade (OLIVEIRA; FRANÇA; RANGEL, 2019)

Nesse contexto, o presente capítulo teve como objetivo realizar um mapeamento dos principais RSS gerados e a partir destes dados, realizar um mapeamento sistemático da literatura para: i) os principais desafios no gerenciamento de resíduos de serviços de saúde, e ii) a perspectiva da valorização desses resíduos na cadeia produtiva para consolidar a economia circular.

2. DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A partir dos objetivos apresentados, o mapeamento dos principais resíduos gerados em serviços da saúde baseou-se no PGRSS de Hospitais Universitários (HU). Os HU são caracterizados por serem centros de formação de recursos humanos na área da saúde e prestam apoio ao ensino, à pesquisa e à extensão das instituições de ensino superior às quais estão vinculados (BRASIL, 2022). Estes hospitais diferem-se de hospitais gerais devido sua característica adicional de ensino e pesquisa, dessa forma necessitam de profissionais especializados para atender as necessidades tanto dos usuários quanto dos alunos (NASCIMENTO, 2022).

2.1. Mapeamento e classificação dos principais resíduos de serviços de saúde (RSS) gerados em hospitais universitários

O levantamento dos principais RSS foi realizado por meio da análise de três PGRSS de HU, disponibilizados para acesso público (online) (Quadro 1).

Quadro 1: Hospital Universitário analisado e seus respectivos PGRSS.

Hospital	Endereço do portal contendo PGRSS
HU Regional dos Campos Gerais	https://www2.uepg.br/propan/wp-content/uploads/sites/145/2020/10/PGRSS-HU-2018-1.pdf
HU Federal da Grande Dourados	https://www.gov.br/ebserh/pt-br/hospitais-universitarios/regiao-centro-oeste/hu-ufgd/acesso-a-informacao/boletim-de-servico/2021/anexo-resolucao-23-plano-de-gerenciamento-de-residuos-de-servicos-de-saude.pdf
HU de São Paulo	http://www.hu.usp.br/wp-content/uploads/sites/367/2019/02/Gerenciamento_de_Residuos_HU.pdf

Fonte: Autoria própria (2022).

Com base nos RSS gerados, realizou-se a classificação seguindo as diretrizes da RDC 228/2018, que determina a classificação dos RSS em: Classe A: materiais infectantes e/ou que entraram em contato com micro-organismos, subdividida em A1 – culturas e estoques de micro-organismos; A2 – peças anatômicas de animais; A3 – peças anatômicas humanas; A4 – materiais como kit de linhas arteriais que não estejam contaminadas e A5 – materiais como órgãos, tecidos, fluidos orgânicos; Classe B: substâncias químicas perigosas; Classe C: rejeitos radioativos, com presença de radiação ionizante; Classe D: resíduos comuns, podendo ser recicláveis ou não e; Classe E: resíduos perfurocortantes infectantes.

2.2. Mapeamento sistemático de literatura: Desafios e perspectivas

O mapeamento de literatura teve o propósito de obter dados secundários em publicações recentes relacionadas a gestão de RSS no período de 2012 a 2022 referente aos principais desafios no gerenciamento de RSS e perspectiva de valorização desses resíduos na cadeia produtiva para consolidar a economia circular. Para isso, foi utilizado a metodologia de revisão bibliográfica sistemática, em busca de compreender as relações, conceitos e ideias unindo dois ou mais temas (ALMEIDA, 2011).

Para esse procedimento são realizadas etapas metodológicas, conforme definidos por Kitchenham (2004), sendo i) Definição do tema de amostragem, ii) Escolha das bases de dados, iii) Formulação das *Strings* de busca, iv) Busca na base de dados, v) Confeção do portfólio bruto de trabalhos, vi) Seleção dos trabalhos e, vii) Extração de dados.

Como o objetivo do trabalho consistiu em explorar artigos científicos e dissertações, as buscas foram feitas nos repositórios da Scielo (*Scientific Electronic Library Online*), para artigos e, Google Acadêmico para dissertações.

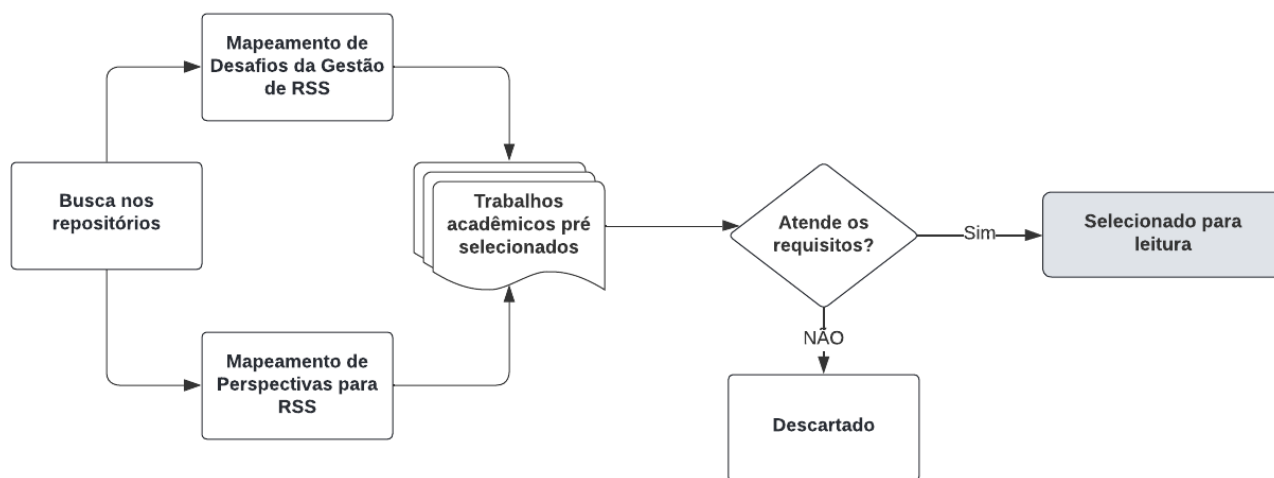
Na etapa de formulação dos *Strings*, utilizou-se a lógica booleana com o operador “AND”, na qual resulta em artigos e/ou dissertações que apresentem os termos de pesquisa de modo simultâneo. As combinações para mapear as dificuldades na gestão de RSS, foram “Resíduos”, “Saúde” e “Gestão”. Para a abordagem das perspectivas de reaproveitamento dos resíduos realizou-se o levantamento nos repositórios Google Acadêmico, Scielo e periódico CAPES, utilizando-se o tipo de RSS (seringa, máscara, meio de cultura, placa de raio X, orgânicos, óleo, plástico e vidro) acrescido de “Reciclagem” ou “Reaproveitamento”. As expressões foram pesquisadas no singular e plural para o melhor aproveitamento das buscas.

Os critérios de inclusão das publicações seguiram as seguintes condições: i) pelo menos cinco artigos científicos, ii) pelo menos dois trabalhos acadêmicos (eventos científicos, trabalho de conclusão de curso, dissertações, teses e relatórios técnicos), iii) referências de no máximo dez anos e iv) pelo menos 20% de referências em inglês.

Após selecionar os filtros, os artigos e dissertações selecionados foram lidos na íntegra e categorizados quanto ao ano, autores, revista, resíduo em estudo e método de reaproveitamento ou reciclagem.

As fases e aplicações dos critérios podem ser visualizadas por meio do fluxograma apresentado na Figura 1.

Figura 1: Fluxograma da aplicação dos critérios de elegibilidade dos trabalhos acadêmicos.



Fonte: Autoria própria (2022).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Principais resíduos de serviços de saúde gerados em hospitais universitários e sua classificação

No Quadro 2 tem-se os principais RSS gerados nos HU analisados e a classificação seguindo as diretrizes da RDC 228/2018.

Para os RSS, a RDC 228/2018 estabelece que aqueles que não apresentarem riscos biológicos, químicos ou radiológicos, podem ser destinados a processos de reciclagem, recuperação, reutilização ou compostagem. Caso o resíduo for classificado como rejeito e não estiver contaminado, pode ser destinado a disposição final adequada. Enquanto os RSS que apresentarem riscos de contaminação, devem passar por tratamento adequado, como por exemplo micro-ondas, incinerador, forno, autoclave, entre outros.

Os resíduos sólidos do grupo D devem ser segregados em três grupos: orgânicos, recicláveis e rejeitos de acordo com o proposto na PNRS (BRASIL, 2010). O subgrupo orgânico consiste em sobras de alimentos e folhas de varrição. Os recicláveis abrangem os materiais que tem potencial para reaproveitamento e/ou reciclagem, como papel, frascos plásticos e os rejeitos são caracterizados por serem resíduos que não apresentam outro reaproveitamento, como por exemplo os papéis de uso sanitário.

Quadro 2: Principais RSS gerados em Hospitais Universitários e sua classificação seguindo as diretrizes da RDC 228/2018.

Classe	Sub Classe	Resíduo
A - Infectante ²	A - 1	Vacinas ¹ , placas de culturas, meios de crescimento de bactérias, <i>swabs</i> , amostras de culturas.
	A - 3	Peças anatômicas humanas, produto de fecundação sem sinais de vida com peso < 500g ou estatura menor que 25cm ou idade gestacional menor que 20 semanas.
	A - 4	Hemoderivados, luvas, esparadrapo, algodão, gazes, sondas, equipo de soro e outros similares, conexões e bolsas, e outros similares, touca, máscara descartável.
B - Químicos		Medicamentos parcialmente utilizados, medicamentos controlados, saneantes e desinfetantes, lâmpadas fluorescentes, lâmpadas incandescentes, pilhas, reatores eletrônicos, medicamentos vencidos, produtos hormonais, medicamentos digitálicos, antimicrobianos, imunossupressores, antirretrovirais, resíduos dos aparelhos de bioquímica e hematologia, gasômetro, reagentes diversos.
D - Comum		Sobras de alimentos, papéis de uso sanitário e fraldas, resíduos provenientes das áreas administrativas, resíduos provenientes de varrição, papel, papelão, frascos plásticos vazios, plásticos, óleo de cozinha e TNT.
E - Perfurocortante		Agulhas, lâminas de bisturis, ampolas, materiais puntiformes e cortantes

Fonte: Autoria própria (2022).

Legenda: ¹ Quando o conjunto seringa-agulha não são desconectadas, deve-se considerar como classe E - Resíduos Perfurocortantes.

² Classe A2 não se aplica a este estudo em função de estar relacionado aos Hospital de Atendimento à Saúde Humana.

3.2. Mapeamento sistemático de literatura: Desafios da gestão de RSS

O resultado do mapeamento sistemático computou 42 publicações e, após a aplicação dos critérios de seleção, propostos na metodologia, resultou em 32 artigos. Em seguida, foi realizado a leitura dos artigos e selecionou-se os 4 mais relevantes para análise mais detalhada. Para a busca por trabalhos acadêmicos, utilizou-se o Google Acadêmico. A busca resultou em 231.000 publicações e, após a aplicação dos critérios de seleção, propostos na metodologia, resultou em 67.200 publicações. Entretanto devido a grande quantidade, foi selecionado os dez trabalhos acadêmicos com maior relevância de acordo com o repositório e selecionado um para análise. As publicações selecionadas para leitura foram dispostas no Quadro 3.

Quadro 3: Publicações relacionados aos desafios da gestão de RSS selecionados para a análise.

Ano	Revista/Trabalho Acadêmico	Autores	Título
2021	Gestão e Produção	Mathias	Management of solid waste from health services according to the National Solid Waste Policy: a study conducted in the South of the Brazil
2019	Saúde em Debate	Delevati, Castro, Ries, Bayer e Rocha	Desafios na gestão de resíduos de estabelecimentos de saúde públicos perante a RDC 222/18
2015	Engenharia Sanitária Ambiental	Maders e Cunha	Análise da gestão e gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde (RSS) do Hospital de Emergência de Macapá, Amapá, Brasil.
2012	Engenharia Sanitária Ambiental	Gomes e Esteves	Análise do sistema de gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde nos municípios da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos, Rio Grande do Sul, Brasil
2012	Tese – Doutorado USP	Ferreira	Gestão e gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde pela administração pública municipal na UGRHI do Pontal do Paranapanema – SP

Fonte: Autoria própria (2022).

Durante o mapeamento sistemático da literatura, foi possível verificar que a principal dificuldade no gerenciamento de RSS está relacionada a atividades de segregação de resíduos (MATHIAS, 2021; DELEVATI *et al.*, 2019; MADERS; CUNHA, 2015; GOMES; ESTEVES, 2012, FERREIRA, 2012). Delevati *et al.* (2019) acrescenta também problemáticas relacionadas à ausência do PGRSS, manejo, abrigo externo, tomada de decisões e responsabilidade técnica.

Para uma melhoria efetiva na segregação de RSS, sugere-se a implementação de coleta seletiva, ou seja, uma separação dos RSS conforme sua constituição ou composição (PNRS, 2010). Ademais, a elaboração do PGRSS permite não só uma compreensão global dos resíduos gerados no empreendimento, mas uma avaliação e monitoramento dos setores para otimizar os processos e gerar menos resíduos.

Bandeira, Pitteri e Chagas (2021) relatam o sucesso do programa de intervenção de segregação de RSS no hospital. A efetividade foi comprovada devido a obtenção de uma redução significativa no volume de resíduos segregados de forma incorreta, e estas práticas podem resultar em uma redução de gasto para a fonte geradora (ZAJAC, 2016; GASPAR *et al.*, 2020). Além de que, vale ressaltar que os resíduos, quando descartados corretamente, podem servir como uma oportunidade de comercialização (ROLDÃO; ROLDÃO, 2018).

3.3. Mapeamento sistemático de literatura: Perspectivas de valorização para a economia circular para RSS

O propósito desta etapa foi correlacionar os RSS que apresentassem potencial para voltar a cadeia produtiva e seus respectivos produtos e/ou formas de aproveitamento ou reciclagem.

Devido as altas opções de resíduos a serem escolhidas para análise (Quadro 2), foi selecionado resíduos representantes dos grupos A (Infectantes: seringa, máscara e placa de Petri), B (Químicos: placa de raio-X) e D (Comuns: Orgânicos, Óleo, Plástico, Vidro e Embalagem Plástica).

A partir da escolha dos resíduos, escolheu-se 1 artigo representativo para cada resíduo que apresentasse uma alternativa para a destinação final do mesmo. As publicações analisadas foram dispostas no Quadro 4 e na Figura 2 pode-se visualizar os resíduos estudados com seus respectivos produtos.

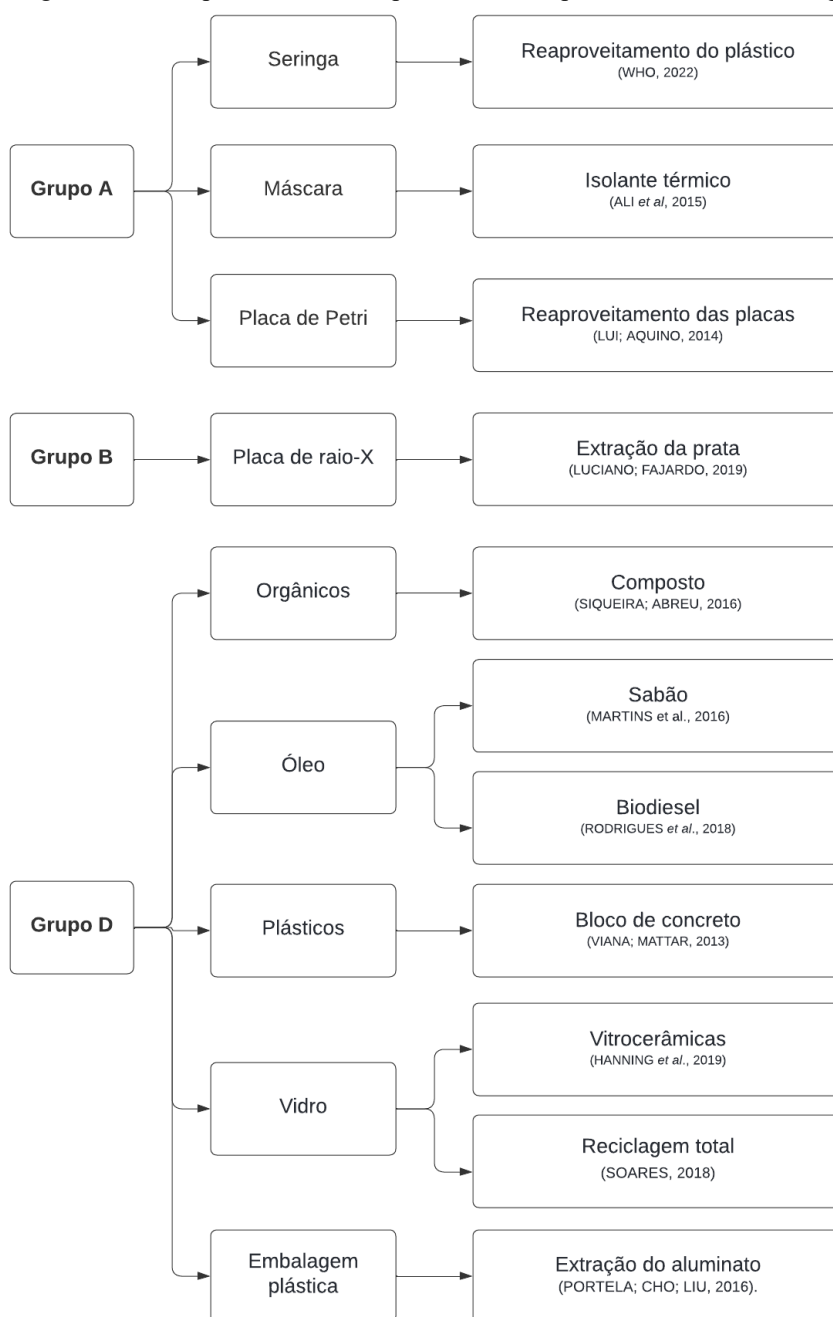
Quadro 4: Publicações relacionadas as perspectivas de reaproveitamento e reciclagem de RSS selecionados para a leitura.

Ano	Revista/Trabalho Acadêmico	Autores	Título
2022	World Health Organization - WHO	World Health Organization	Global analysis of health care waste in the context of COVID-19
2021	Scientific Reports	Ali, Almuzaiqer, Al-Salem, Alabdulkarem, Nuhait	New novel thermal insulation and sound-absorbing materials from discarded facemasks of COVID-19 pandemic
2020	Gestão e sustentabilidade ambiental	Albarado, Santos, Pereira, Adad e Silva	Sustentabilidade e práticas ambientais no âmbito hospitalar no interior da Região Amazônica
2019	Exacta	Rodrigues, Simonetto, Barros, Langwinski, Sales, Drago, Santos	Computational simulation and evaluation of the use of cooking oil for biodiesel generation in municipalities of southern Brazil.
2019	Anais	Luciano, Fajardo	Gestão de radiografias: um estudo de caso no Hospital Universitário da UFSCar
2019	Revista Matéria	Hanning, Gualberto, Simões, Bertolino, Poiate, Andrade	Glass-ceramic produced with recycled glass

2018	Trabalho de Conclusão de Curso	Thaís Fernandes Soares	Reciclagem do vidro para embalagens de alimentos e bebidas como etapa do Sistema de Gestão Ambiental
2016	Revista Univap	Portela, Cho, Liu	Extração de aluminato de embalagens plásticas metalizadas
2014	TESE - UFSC	Ferber, Junior, Júnior	Gerenciamento de resíduos sólidos de serviços de saúde no hospital universitários da UFSC: monitoramento e proposição de indicadores de qualidade dos serviços
2013	Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental	VIANA, MATTAR,	Utilização de resíduos poliméricos da indústria de reciclagem de plástico em blocos de concreto

Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 2: Fluxograma de exemplos de RSS com potencial de reaproveitamento ou reciclagem e seus produtos.



Fonte: Autoria própria (2022).

No Grupo A – Infectantes, foram encontradas soluções para os resíduos: seringas, máscaras e meio de cultura. No Nepal, devido ao aumento de resíduos ocasionados pela vacinação em massa em razão da Covid-19, resultou em processos de descontaminação e descaracterização dos plásticos de seringa e este produto passou a ser vendido para a reciclagem (WHO, 2022). O incentivo ao uso de máscaras faciais na pandemia gerou o aumento deste resíduo, nesse contexto Ali *et al.*, (2021) iniciaram um estudo para utilizá-las como isolamento térmico e absorção sonora substituindo materiais sintéticos e petroquímicos.

Lui e Aquino (2014) relatam a experiência de reutilização de placas de Petri contendo meios de cultura não mais estéreis. O processo de contaminação destas placas acontece devido a não utilização completa dos pacotes de placa de Petri e, que após aberto não podem ser mais utilizadas. Essas placas não utilizadas tem a remoção do meio de cultura e posteriormente são submetidas ao uso da radiação gama, garantindo a esterilização das mesmas. Esse processo resulta no reaproveitamento das placas de Petri e gerou uma economia de R\$ 700,00/ano.

O Grupo B – químicos abrange resíduos fotoquímicos (tais como Raio-X). Estes resíduos podem servir como matéria prima para a extração e recuperação de prata (LUCIANO; FAJARDO, 2019). As placas de Raio-X passam por tratamento em hipoclorito de sódio, resultando em um resíduo com prata e películas de plástico limpas. Para isolar a prata, é adicionado hidróxido de sódio e aquecido com sacarose

Os resíduos do Grupo D – comuns, englobam resíduos orgânicos, recicláveis e rejeitos. Os resíduos orgânicos, podem ser tratados para a geração de composto (fertilizante orgânico), por meio da compostagem (SIQUEIRA; ABREU, 2016). A prática de compostagem em Hospitais foi relatada nos trabalhos desenvolvidos por Ferber e Junior (2014) e Albarado *et al.*, (2020). Na literatura é possível encontrar diversas soluções para os materiais recicláveis, quando descartados corretamente. Os plásticos podem servir de matéria prima para a fabricação blocos de concreto (VIANA; MATTAR, 2013). As embalagens plásticas de alumínio podem ser tratadas para a extração de aluminato (PORTELA; CHO; LIU, 2016). Os vidros tem potencial de reciclagem total, sem perda de propriedades químicas e físicas, podendo voltar na íntegra para a cadeia produtiva, como por exemplo, em embalagens de alimentos e bebidas (SOARES, 2018), mas também servem de matéria prima para a produção de vitrocerâmica (HANNING *et al.*, 2019).

No grupo D há também a geração de óleo de cozinha. Este material costuma ser doado para instituições, que pode ser utilizado para fabricação de sabão (MARTINS *et al.*, 2016), mas

há também possibilidade de utilização deste material como matéria prima para fabricação de biodiesel (RODRIGUES *et al.*, 2018).

Por fim, Albarado *et al.* (2020) relatam outra forma de gerenciamento de resíduos hospitalar, porém reutilizando estes resíduos como material em diferentes setores. Frascos de soro e galões de água da hemodiálise são aproveitados como vasos na horta, papéis extras utilizados para a proteção de vidrarias ou matérias frágeis viram cadernetas, enquanto os rolos de papéis e tampinhas de plásticos utilizados em atividades de artesanatos e jogos para serem usados com os pacientes.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como propósito oferecer, de forma sintética e objetiva, os principais desafios e perspectivas a respeito da segregação de RSS por meio de um mapeamento sistemático da literatura.

Com base no mapeamento sistemático da literatura, foi possível compreender que os principais desafios no gerenciamento de RSS estão relacionados a segregação de resíduos sólidos. A concretização de um projeto de coleta seletiva torna-se um passo necessário para a melhoria na gestão de resíduos sólidos. Entretanto, vale ressaltar que o processo de implementação deste projeto é um processo gradativo e necessita ser vinculado com treinamentos e capacitações dos funcionários, junto a práticas contínuas de Educação Ambiental para garantir a continuidade do projeto e obter resultados satisfatórios.

No âmbito das perspectivas dos resíduos sólidos, foi possível compreender a importância da segregação adequada dos RSS para permitir a volta dos mesmos na cadeia produtiva, seja por reaproveitamento ou reciclagem.

Para trabalhos futuros, recomenda-se o acréscimo de um subtópico relatando as formas de capacitação, treinamentos e práticas de Educação Ambiental realizadas nos locais produtores de RSS.

REFERÊNCIAS

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. São Paulo: ABRELPE, 2021. Disponível em < <https://abrelpe.org.br/panorama-2020/>>. Acessado em março de 2022.

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2019**. São Paulo: ABRELPE, 2020. Disponível em <<https://abrelpe.org.br/download-panorama-2018-2019>>. Acessado em março de 2022.

ALBARADO, K. V. P. *et al.* Sustentabilidade e práticas ambientais no âmbito hospitalar no interior da região amazônica. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, [S.L.], v. 9, n. 4, p. 927, 29 dez. 2020. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v9e42020927-940>> Acessado em abril de 2022

ALI, M. *et al.* New novel thermal insulation and sound-absorbing materials from discarded facemasks of COVID-19 pandemic. *Scientific Reports*, [S.L.], v. 11, n. 1, p. 1-15, dez. 2021. **Springer Science and Business Media LLC**. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1038/s41598-021-02744-8>>. Acessado em abril de 2022

ALMEIDA, M. de S. **Elaboração de projeto, TCC, dissertação e tese: uma abordagem simples, prática e objetiva**. São Paulo: Atlas, 2011.

BANDEIRA, R.; PITTERI, J. S. M.; CHAGAS, D. R. Programa de intervenção para o manejo de resíduos em serviços de saúde / Intervention program for waste management in healthcare services. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 7, n. 6, p. 60261-60280, 18 jun. 2021. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n6-420>> Acessado em abril de 2022.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução da Diretoria Colegiada RDC Anvisa nº 222 de 9 de maio de 2018**. Brasília, 2018.

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**. Diário Oficial da União: Brasília, 2010.

BRASIL, Ministério da Educação. **Hospitais Universitários**. Brasília. Disponível em <<http://portal.mec.gov.br/hospitais-universitarios#:~:text=Os%20hospitais%20universitários%20são%20centros,técnicos%20para%20as%20diversas%20patologias.>>>. Acessado 22 de agosto de 2022

DELEVATI, D. S. *et al.* Desafios na gestão de resíduos de estabelecimentos de saúde públicos perante a RDC 222/18. **Saúde em Debate**, [S.L.], v. 43, n. 3, p. 190-199, dez. 2019. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/0103-11042019s314>>. Acessado em abril de 2022

FERBER, M. C. S. **Gerenciamento de resíduos sólidos de serviços de saúde no hospital universitários da UFSC: monitoramento e proposição de indicadores de qualidade dos serviços**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2014.

FERREIRA, E. R. **Gestão e gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde pela administração pública municipal na UGRHI do Pontal do Paranapanema - SP**. 2012. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. doi:10.11606/T.18.2012.tde-07062013-090231. Acesso em: 2022-05-07.

GASPAR, L. M. R. *et al.* Análise econômico-financeira do gerenciamento dos resíduos sólidos orgânicos em uma agroindústria de processamento mínimo de hortaliças. **Engenharia**

Sanitária e Ambiental, [S.L.], v. 25, n. 3, p. 477-488, jun. 2020. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/s1413-4152202020180189>>. Acessado em abril de 2022.

GOMES, L. P.; ESTEVES, R. V. R. Análise do sistema de gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde nos municípios da bacia hidrográfica do Rio dos Sinos, Rio Grande do Sul, Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 17, n. 4, p. 377-384, dez. 2012. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522012000400004>>. Acessado em abril de 2022.

HANNING, E. *et al.* Glass-ceramic produced with recycled glass. **Matéria** (Rio de Janeiro), [S.L.], v. 24, n. 4, p. 1-13, 2019.

KITCHENHAM, B., 2007, **Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering**, Technical Report EBSE-2007-01, Department of Computer Science Keele University, Keele.

LUCIANO, D.; FAJARDO, R. C. A. **Gestão de radiografias**: um estudo de caso no Hospital Universitário da UFSCar. In: Workshop de Inovação, Pesquisa, Ensino E Extensão, 4., 2019, São Carlos, SP. Anais... São Carlos, SP: IFSP, 2019. p. 127-130. ISSN 2525-9377.

MADERS, G. R.; CUNHA, H. F. A. Análise da gestão e gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde (RSS) do Hospital de Emergência de Macapá, Amapá, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 20, n. 3, p. 379-388, set. 2015. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/s1413-41522015020000137607>>. Acessado em abril de 2022.

MARTINS, M. I. M. *et al.* Reciclo-óleo: do óleo de cozinha ao sabão ecológico, um projeto de educação ambiental. **Cinergis**, [S.L.], v. 17, n. 4, p. 1-6, 17 out. 2016. APESC - Associação Pro-Ensino em Santa Cruz do Sul. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.17058/cinergis.v17i3.8146>>. Acessado em abril de 2022.

MATHIAS, R. V. Management of solid waste from health services according to the National Solid Waste Policy: a study conducted in the south of the Brazil. **Gestão e Produção**, [S.L.], v. 28, n. 4, p. 1-19, jun. 2021. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.1590/1806-9649-2021v28e5727>>. Acessado em abril de 2022.

MOREIRA, A. M. M. **Gerenciamento de resíduos de serviços de saúde**: um desafio para unidades básicas de saúde. Dissertação de Mestrado: Universidade de São Paulo, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 1-199, jul. 2019. Universidade de Sao Paulo, Agencia USP de Gestão da Informacao Academica (AGUIA). Disponível em <<http://dx.doi.org/10.11606/d.6.2012.tde-06092012-103002>>. Acessado em abril de 2022.

NATIONAL CONFEDERANCE OF INDUSTRY (Brasil) (org.). **Circular Economy**: opportunities and challenges for the brazilian industry. Brasilia: Cni, 2018. 76 p.

OLIVEIRA, F. R.; FRANÇA, S. L. B.; RANGEL, L. A. D. Princípios de economia circular para o desenvolvimento de produtos em arranjos produtivos locais. **Interações** (Campo Grande), [S.L.], p. 1179-1193, 5 nov. 2019. Universidade Católica Dom Bosco.

PORTELA, C. I.; CHO, L. Y.; LIU, A. S. Extração de Aluminato de Embalagens Plásticas Metalizadas. **Revista Univap**, [S.L.], v. 22, n. 40, p. 133, 17 nov. 2016. UNIVAP Universidade de Vale do Paraíba. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.18066/revistaunivap.v22i40.1452>>. Acessado em abril de 2022.

RODRIGUES, G. O. *et al.* A computational model for analysis of biodiesel production, derived from cooking oil, and use in collection of garbage. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, [S.L.], v. 14, n. 1, p. 189-209, 1 mar. 2019. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.15675/gepros.v14i1.2102>>. Acessado em abril de 2022.

ROLDÃO, A. J. L. N.; ROLDÃO, J. P. Usina de triagem e compostagem: Humaitá-am. **Educamazônia: Educação, Sociedade e Meio Ambiente**, [S.L.], v. 20, n. 1, p. 144-156, julho 2018.

SIQUEIRA, T. M. O.; ABREU, M. J. Fechando o ciclo dos resíduos orgânicos: compostagem inserida na vida urbana. **Ciência e Cultura**, [S.L.], v. 68, n. 4, p. 38-43, dez. 2016. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602016000400013>>. Acessado em abril de 2022.

SOARES, T. F. **Reciclagem do vidro para embalagens de alimentos e bebidas como etapa do Sistema de Gestão Ambiental**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, v. 1, n. 1, p. 1-30, 2018.

VIANA, E.; MATTAR, D. C. Utilização De Resíduos Poliméricos da Indústria De Reciclagem De Plástico Em Blocos De Concreto. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [S.L.], v. 8, n. 8, p. 1722-1733, 11 jan. 2013. Universidade Federal de Santa Maria. Disponível em <<http://dx.doi.org/10.5902/223611706471>>. Acessado em abril de 2022.

World Health Organization (WHO). **Global analysis of health care waste in the context of COVID-19: Status, impacts and recommendations**. 71p. fev-2021. Disponível em <<https://www.who.int/publications/i/item/9789240039612>>. Acesso 21 de março de 2022.

ZAJAC, M. A. L. *et al.* Logística reversa de resíduos da Classe-D em ambiente hospitalar: monitoramento e avaliação da reciclagem no hospital infantil Cândido Fontoura. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, [SI], v. 5, n. 1, p. 78-93, jan. 2016.

CAPÍTULO 12

MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE: CONSIDERAÇÕES SOBRE OS EFEITOS DO CARBONO NO SOLO E AS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

Kédima Ferreira de Oliveira Matos
Nailton Santos de Matos

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo refletir sobre os efeitos do carbono no solo e sua relação com o efeito estufa. O manejo do solo no processo de urbanização, na produção agropecuária tem contribuído significativamente para emissões de GEE. Trata-se de uma pesquisa exploratória, cuja metodologia de coleta se dá por meio de uma revisão bibliográfica. Segundo Severino (2018), a pesquisa bibliográfica é aquela que se realiza a partir do registro disponível, decorrente de pesquisas anteriores, em livros, artigos, teses etc. Práticas inadequadas de manejo e usos do solo potencializam a produção de carbono (C), contribuindo para o aumento da emissão de GEE, além de causar prejuízos na qualidade de vida global. A pesquisa evidenciou que é necessário que se estabeleçam políticas que tenham como finalidade a efetiva redução dos níveis de concentração de gás carbônico na atmosfera.

PALAVRAS-CHAVE: Carbono. Efeito Estufa. Solo. Meio ambiente e sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que o solo é um recurso natural largamente utilizado pelo homem. Contudo, pesquisadores são unânimes em dizer que os processos industriais podem causar efeitos danosos na qualidade do solo e, desta maneira, alterar de forma negativa os recursos naturais em agentes poluentes. Desta maneira, evidencia-se que o aumento da produção industrial, o excesso de consumo e, conseqüentemente, a poluição do ambiente afeta diretamente a qualidade do solo.

A ocupação e o uso do solo devido ao crescimento desordenado e desigual das áreas urbanas acarretam em graves problemas ambientais. Deste modo, é fundamental que se estabeleçam políticas de gerenciamento dos recursos hídricos, a fim de que se possa acompanhar, de forma criteriosa, os usos e utilizações do solo, de modo que os impactos sejam minimizados ou eliminados, a fim de que se garantam a proteção e a restauração de áreas degradadas.

O solo é um importante compartimento de carbono (C) e exerce papel fundamental sobre a emissão de gases do efeito estufa e conseqüentes mudanças climáticas globais. Para Oliveira, Reatto e Roig (2015), o conhecimento da variabilidade e espacialização dos estoques de carbono no solo é de grande importância tanto para a caracterização, quanto para o monitoramento de uma determinada área ambiental em relação à qualidade do solo, sendo este conhecimento um dos indicadores-chave na prestação de serviços ambientais.

Santana e Araújo (2017), enfatizam que o solo deve ser visto como um recurso natural de alta importância não somente ambiental, mas também social e econômica. Práticas inadequadas, segundo estes autores, potencializam a degradação do solo e a contaminação das bacias hidrográficas, refletindo em solos com baixa produtividade, além de causar prejuízos na qualidade de vidas das comunidades que ocupam o espaço.

De acordo com Marengo (2007), a ação do homem no manejo do solo tem contribuído para as mudanças climáticas por meio da emissão de gases como o dióxido de carbono (CO_2) e o metano (CH_4). Segundo Fitzsimmons *et al.* (2003), entre as principais fontes de emissão de carbono (C) antropogênico destacam-se as alterações no uso do solo.

2. O CARBONO E SEUS EFEITOS NO MEIO AMBIENTE

No âmbito das mudanças climáticas globais, o solo e suas formas de uso estão em foco, sobretudo no que se refere à agricultura. Os solos agrícolas podem atuar como dreno ou fonte de gases de efeito estufa (GEE), dependendo do sistema de manejo a que forem submetidos (IPCC, 2001).

Portanto, diferentes atividades de ocupação do solo tais como urbanização, criação de áreas de pastagens e de agricultura provocam alterações no comportamento hidrodinâmico do solo. O manejo e uso inadequado do solo são considerados os catalisadores dos impactos gerados pela agricultura. As ações desordenadas de manejo do solo tais como desmatamento e queima de vegetação, bem como o uso de máquinas agrícolas comprometem as propriedades do solo e contribuem significativamente para mudanças climática e o efeito estufa (BERNOUX *et al.*, 2005; RANGEL; SILVA, 2007).

O carbono está presente no solo e exerce um importante papel sobre a emissão dos gases poluentes, bem como nas mudanças climáticas. Por isto, as mudanças no uso e manejo do solo podem causar tanto efeitos positivos e/ou negativos especialmente no que se refere a emissão de gases de efeito estufa para atmosfera.

Segundo Sambuichi *et al.* (2012), o aumento da emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE) na atmosfera, principalmente CO_2 , se configura no maior impacto ao meio ambiente gerado pela produção agrícola. O efeito estufa ocorre naturalmente no planeta, entretanto o aumento das concentrações de metano (CH_4), ácido nítrico (N_2O) e CO_2 devido às ações do homem sobre o solo têm provocado alterações no comportamento do solo provocando aumento da temperatura e, conseqüentemente, degradação na paisagem, no comportamento hidrodinâmico do solo, na temperatura do planeta (CARVALHO *et al.*,

2010). No Brasil, 52% das emissões de GEE tem como origem de atividades agrícolas e pecuárias (fermentação entérica do gado, manejo de dejetos animais, solos agrícolas, cultivo de arroz, queima de resíduos agrícolas, uso de fertilizantes entre outras), de mudança no manejo da terra e de queimadas (BRASIL, 2014).

Carvalho *et al.* (2010), destaca que tem sido perceptível o aumento do aquecimento global, provocado pelo aumento das emissões dos gases responsáveis pelo efeito estufa, “oriundos principalmente da queima de combustíveis fósseis, do desmatamento e do uso inadequado do solo para agricultura” (p. 277), bem como pelo uso e manejo inadequado do solo, pois:

[...] além de contribuir para o efeito estufa, ainda traz problemas relacionados à sua sustentabilidade devido à degradação da matéria orgânica do solo, o que atinge negativamente os seus atributos físicos e químicos, bem como sua biodiversidade. Por outro lado, práticas adequadas de manejo, que visam à manutenção ou mesmo o acúmulo de C no sistema solo-planta, podem atenuar os efeitos do aquecimento global. Essas práticas de manejo podem ser: implementação de sistemas de plantio direto, recuperação de pastagens degradadas, implantação de sistemas integrados de cultivo, reflorestamento de áreas marginais, uso de espécies que tenham alta produção de biomassa, eliminação de queimadas, entre outras (CARVALHO, p. 277, 2010).

Neste sentido, o pesquisador Watson *et al.* (2001) aponta para a grande importância que o solo possui no ciclo biogeoquímico do carbono, pois o mesmo armazena cerca de quatro vezes mais carbono (C) do que a biomassa vegetal e três vezes mais do que a atmosfera.

Desta forma, é possível perceber a importância de compreender e realizar estudos sobre a presença do carbono no solo e de como este pode influenciar a poluição e por consequente influenciar o meio ambiente causando efeitos diversos tais como a alteração climática, por exemplo.

Pesquisas, como a de Oliveira, Reatto e Roig (2015), vêm apresentando que o solo é um importante reservatório de C capazes de apresentar grandes quantidades deste elemento. Boina (2008), por exemplo, destaca que entre os compostos orgânicos, cerca de um terço se encontra na matéria orgânica do solo, na biomassa viva e na água. O monóxido de carbono (CO), presente no solo é oriundo de restos de animais, microrganismos em decomposição e também vegetais. Neste sentido, estas pesquisas mostram cada vez mais que as alterações no uso do solo encontram-se entre as fundamentais causas de emissão de carbono na atmosfera.

Nos últimos anos, o debate acerca dos possíveis causadores do efeito estufa vem sendo implantado na comunidade científica de modo geral, porém mesmo com todo o debate entre as diferentes teorias, vem se mostrando cada vez mais que o aumento da concentração dos gases do efeito estufa na atmosfera e as alterações climáticas vêm sendo uma das consequências de

ações antrópicas. E como destaca Morengo (2007), sabe-se que a ação do homem tem grande contribuição para as mudanças do clima por meio destas emissões de gases, especialmente gases como o dióxido de carbono (CO₂) e o metano (CH₄).

Pensando nos aspectos acima destacados, este artigo busca apontar a influência do carbono do solo na poluição ambiental, com um olhar especial para as mudanças climáticas e a ação do homem frente a esta situação. Para tanto, é importante compreender o ciclo do carbono e o impacto das atividades antrópicas no equilíbrio deste ciclo.

3. O CICLO DO CARBONO

Zilberman (1997) destaca que o ciclo do carbono está baseado no gás carbono (CO₂). No ciclo, estão presentes substâncias orgânicas, inorgânicas, bem como o processo de fotossíntese, a respiração, a matéria orgânica terrestre e também a marítima. Também fazem parte deste ciclo os processos como erosões, vulcões, queima de combustíveis assim como as cadeias alimentares.

Segundo, Miller (2007) o ciclo do carbono é um dos ciclos mais influenciados por atividades antrópicas, em apenas algumas centenas de anos extraiu-se e queimou-se combustíveis fósseis que levaram milhões de anos para se formar e removeu-se assim, árvores e outras plantas que absorvem CO₂ atmosférico através da fotossíntese.

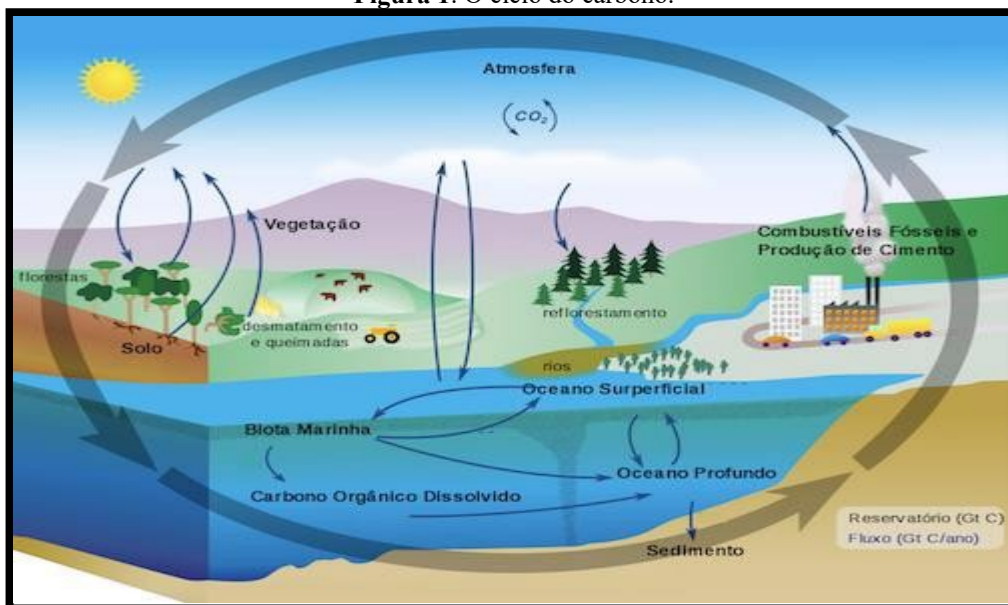
Campo (2011) afirma que, no planeta Terra, a circulação do carbono se dá através da atmosfera, dos oceanos, da terra e do seu interior, num grande ciclo biogeoquímico. O autor ainda enfatiza que este ciclo pode ser dividido em dois tipos que acontecem em diferentes velocidades: o ciclo “lento” ou geológico e o ciclo “rápido” ou biológico. Destes dois ciclos, percebe-se que o ciclo biológico do carbono é um tanto quanto rápido: estima-se que a renovação do carbono atmosférico ocorra a cada 20 anos. Faz parte deste ciclo tanto a atividade de organismos macroscópicos como de microrganismos tendo uma forte ligação com o ciclo do oxigênio. Campos (2011) ainda destaca que:

Através do processo da fotossíntese, os produtores aquáticos e terrestres absorvem energia solar e CO₂ da atmosfera, produzindo oxigênio e carboidratos complexos, como a glicose. Esse carbono que é absorvido pelos produtores, uma vez incorporado às suas moléculas orgânicas, poderá seguir dois caminhos: ou será liberado novamente para a atmosfera na forma de CO₂, como resultado do processo respiratório de plantas e animais; ou será transferido na forma de moléculas orgânicas aos animais herbívoros quando estes se alimentarem dos produtores. Parte do carbono contido nos herbívoros será ainda transferida para os níveis tróficos seguintes e outra parte caberá aos decompositores que liberarão o carbono novamente para a atmosfera, degradando as moléculas orgânicas presentes na porção que lhes coube. Essa ligação entre a fotossíntese nos produtores e a respiração aeróbica nos produtores, consumidores e decompositores faz com que o

carbono circule na biosfera. As equações químicas que regem estes dois processos são: **1) Fotossíntese:** $6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} + \text{energia (luz solar)} = \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2$ e **2) Respiração:** $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6 \text{ O}_2 = 6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O} + \text{energia}$. [grifo nosso] (CAMPOS, p. 3, 2011).

Os estudos evidenciam que existem átomos de carbono que pode levar muitos anos para que ocorra uma reciclagem e este fato faz parte do ciclo geológico do carbono. Miller (2007) destaca que este carbono comumente não é liberado para a atmosfera em forma de gás carbono para que ocorra o processo de reciclagem até que longos processos geológicos exponham esses depósitos à atmosfera. Isto se dá em um processo de milhões de anos, por meio de depósitos soterrados de matérias orgânicas de plantas, animais e até bactérias que são comprimidos entre camadas de sedimentos, nas quais são formados combustíveis fósseis que contém o carbono, como o carvão, o gás natural e o petróleo. Campos (p. 4, 2011) aponta que “(...) é devido a este longo período de tempo necessário à sua formação que dizemos que os combustíveis fósseis não são renováveis, pelo menos não na escala humana”. A figura abaixo retrata o ciclo do carbono:

Figura 1: O ciclo do carbono.



Fonte: imagem modificada de Gtyogui, CC-BY-SA-4.0, Wikimedia Commons (2022).

Resumidamente, a figura explicita que o ciclo do carbono se dá tanto através da respiração animal e vegetal, via cadeia alimentar ou pela decomposição animal e vegetal, no processo de formação do gás carbono, bem como faz parte do ciclo a queima dos combustíveis fósseis, como o gás natural, a gasolina, óleo diesel, como já destacado anteriormente. Deve-se lembrar ainda que as atividades vulcânicas e também da queima das florestas também são responsáveis pela produção de carbono. Vale ressaltar que o carbono tem uma grande importância na natureza, não só por promover equilíbrio no processo de regulação do ar e do

clima, mas no fornecimento de combustíveis fósseis, bem como outros materiais como cimento, pedras calcárias.

Campos (2011, p. 4) afirma que “apesar de o CO₂ ser responsável por apenas cerca de 0,033 % da composição gasosa total da atmosfera terrestre, em decorrência do aumento das entradas desse gás na atmosfera, sua concentração tem sofrido um acréscimo notável” e que isto se deu especialmente após a segunda metade do século dezanove. Ele ainda destaca a capacidade que o gás carbônico tem em absorver relativamente mais radiação infravermelha proveniente do sol do que as moléculas de nitrogênio e oxigênio (CAMPOS, 2011).

Deste modo, como destaca Coelho (2002) o depósito atmosférico do C pode influenciar o clima da terra mesmo apesar de sua pequena dimensão, pois um pequeno aumento nas concentrações do gás carbônico na atmosfera pode vir a aumentar a temperatura média da Terra.

Este fenômeno é bem conhecido e vem sendo estudado e pesquisado nos últimos anos de forma crescente, que é o efeito estufa. “O efeito estufa é um fenômeno natural e imprescindível para a vida em nosso planeta. Parte da radiação solar que chega à Terra é refletida pela superfície terrestre, enquanto outra parte é absorvida” (CAMPOS, 2011, p. 4,). Sabe-se que por milhões de anos o efeito estufa criou condições para manter a Terra aquecida e sua temperatura estável. Porém, após esse extenso período de equilíbrio, o planeta está aquecendo rapidamente (DIAS, 2006). Algumas pesquisas (OLIVEIRA; REATTO; ROIG, 2015; CAMPOS, 2011; NOBRE, 2008; COELHO, 2002) vêm destacando que regiões com grandes extensões florestais na faixa tropical, favorecem de maneira bem significativa para a liberação de gases carbônicos para a atmosfera.

No Brasil, por exemplo, mais de 50% das emissões de gases de efeito estufa se dá por conta do gás carbônico proveniente das alterações na vegetação, especialmente, os desmatamentos que ocorrem na Amazônia. Muito vem se debatendo sobre questões que envolvem o efeito estufa e aquecimento global.

Na seção a seguir, o foco será os fatores que influenciam o aquecimento global, a fim de que se perceba melhor a influência do carbono do solo neste processo do aquecimento e consequentemente nas alterações climáticas.

4. FATORES QUE INFLUENCIAM O AQUECIMENTO GLOBAL

Como já apresentado nas sessões anteriores o efeito estufa está relacionado a uma camada composta de gases que torna regular a temperatura terrestre, isto é uma característica natural da terra. No entanto, o aquecimento global tem uma estreita relação com a intensificação deste

efeito estufa, bem como as alterações climáticas por conta da elevação da temperatura média do planeta. Algo que tem sido um fator preocupante para esta elevação de temperatura é a conversão de florestas para outros usos do solo. Marengo *et al.* (2007) enfatiza que a expansão agrícola e a exploração madeireira causaram uma perda de aproximadamente 7 a 10 milhões de km² de cobertura florestal nos últimos 300 anos. Em regiões tropicais, a retirada da cobertura florestal pode causar alterações no balanço hídrico, nos padrões de precipitação das chuvas e na temperatura, tornando o clima mais seco e quente. A taxa de evapotranspiração da floresta é muito maior do que qualquer cultivo ou pastagem, e com a mudança no uso do solo, o fluxo de vapor de água para a atmosfera diminui sensivelmente, alterando o ciclo hidrológico. Na Amazônia, por exemplo, estudos prevêem que a temperatura poderá subir de 5 a 8°C até 2100 e a redução no volume de chuva pode chegar a 20% (MARENGO, *et al.*, 2007).

O desmatamento, a exploração madeireira e os incêndios florestais associados aos eventos de El Niño cada vez mais frequentes e intensos, poderão aumentar significativamente as emissões de carbono oriundas de mudanças no uso do solo (MOUTINHO, 2006).

Neste sentido, um estudo realizado por Dal Soglio e Kubo em 2009, apresenta o Brasil como o quinto país no ranking mundial responsável pela emissão de gases estufa em função das queimadas e do desmatamento, fato que vem se agravando mais e mais por conta da expansão das atividades agrícolas, principalmente em regiões como o Cerrado e Floresta Amazônica.

Magril e Baião (2015) destaca ainda que o uso dos combustíveis fósseis, no desmatamento, vem contribuindo para a degeneração da qualidade ambiental, desencadeando o aumento significativo da temperatura do planeta que obviamente contribui diretamente para o aquecimento global.

Desta forma, concorda-se com Silva e Paula (2009) quando afirma que “o aquecimento global é um fenômeno climático de grande extensão, ou seja, um aumento da temperatura média superficial global, provocado por fatores internos e/ou externos”. Estes fatores internos “são complexos e estão associados a sistemas climáticos caóticos não lineares, isto é, inconstantes, devido a variáveis como a atividade solar, a composição físico-química atmosférica, o tectonismo e o vulcanismo”. Já os fatores externos “são antropogênicos e relacionados a emissões de gases-estufa por queima de combustíveis fósseis, principalmente carvão e derivados de petróleo, indústrias, refinarias, motores, queimadas” (SILVA; PAULA, p. 43, 2009). De fato,

Grande parte da comunidade científica acredita que o aumento da concentração de poluentes antropogênicos na atmosfera é a causa principal do efeito estufa, conseqüentemente do aquecimento global. Independente de sua causa, o efeito estufa antrópico ou a recuperação natural do clima após três séculos (séculos XVII a XIX) de baixas temperaturas durante o período da “Pequena Idade do Gelo” tem ocasionado efeitos devastadores nos ecossistemas (SILVA; PAULA, 2009, p. 48).

Como visto, os autores salientam que a concentração de gases poluentes jogados na atmosfera tem em sua composição carbono, principalmente o gás carbônico e o metano, na composição atmosférica. Percebe-se portanto que o grande problema está no fato dessa composição está sendo alterada por meio de emissões de gases do efeito estufa oriunda de atividades econômicas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os impactos negativos da mudança global do clima podem sim serem amenizados e/ou retardados, através de uma utilização mais adequada do solo. Sabe-se que o carbono do solo, diferente das reservas do carbono fóssil, não é permanente e em curto prazo ou mesmo em longo prazo, pode se transferir para a atmosfera, não podendo compensar em sua totalidade as emissões oriundas da queima de combustíveis fósseis. Logo, o solo pode ser o maior compartimento de carbono nos ecossistemas terrestre capaz de estocar carbono pela agricultura conservacionista, como o caso do plantio direto. O ser humano ao estabelecer práticas do uso adequado e consciente do solo, é capaz sim de diminuir bastante estes impactos negativos sobre a questão que envolve o clima.

Ações que tenham a finalidade de reduzir ao máximo os níveis de concentração de gás carbônico na atmosfera devem ser pensadas, avaliadas e implantadas, como por exemplo, o plantio de árvores com esta finalidade de redução dos níveis de CO₂. Num entanto se faz necessário, antes mesmo de se pensar no plantio de árvores, de forma alternativa de compensar as emissões de gases do efeito estufa, outras ações devem ser realizadas para que ocorra uma redução efetiva de emissões dos gases do efeito estufa, afinal de contas, esta ação sozinha não vai garantir a eficácia de uma mitigação das mudanças climáticas. Certamente, se pretender de fato reduzir de forma significativa as emissões de gases do efeito estufa, deve-se realizar uma série de alterações nos padrões e conduta desta sociedade moderna.

Estudos neste sentido continuam sendo necessários para se retardar estes processos que só contribuem para o aquecimento global e conseqüentemente a mudança climática que tem-se vivenciado nos últimos anos, ou melhor, nas últimas décadas. Mudanças estas que já afetam drasticamente o planeta.

REFERÊNCIAS

BERNOUX, M. *et al.* Gases de efeito estufa e estoque de carbono nos solos: Inventário do Brasil. **Caderno de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 22, n. 1, pp. 235-246, 2005. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/cct/article/view/8699/4885>. Acessado em: Ago, 2022.

BOINA, A. **Quantificação de estoques de biomassa e de carbono em floresta estacional semidecidual, Vale do Rio Doce**, Minas Gerais. 2008. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008. Disponível em: <https://poscienciaflorestal.ufv.br/wp-content/uploads/2020/07/Aline-Boina.pdf>. Acessado em: Ago, 2022.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI). **Estimativas anuais de emissões de gases de efeito estufa no Brasil**. ed. 2. Brasília: 2014. CAMPOS, R. F. Pegada de Carbono: A relação entre mudanças climáticas e hábitos insustentáveis. **Revista Geográfica de América Central**. Número Especial EGAL, 2011- Costa Rica, II Semestre 2011, pp. 1-16. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/download/3162/3021/>. Acessado em: Ago, 2022.

CARVALHO, João Luis Nunes *et al.* Potencial de sequestro de carbono em diferentes biomas do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 277-289, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000200001>. Acessado em: Ago, 2022.

COELHO, R. M. P. Ciclos Biogeoquímicos. In: COELHO, R. M. P. **Fundamentos em Ecologia**. Porto Alegre: ARTMED, 2002.

DAL SOGLIO, F.; KUBO, R.R. Agricultura e Sustentabilidade. **Revista EAD**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, p. 21-22, 2009. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/52807/000732669.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acessado em: Ago, 2022.

DIAS, R. **Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade**. São Paulo: Atlas, 2006.

FITZSIMMONS, M. J.; PENNOCK, D. J.; THORPE, J. Effects of deforestation on ecosystem carbon densities in central Saskatchewan, Canada. **Forest Ecology and Management**, v.188, n. 1-3, p. 349-361, Feb. 2003

MAGRIL, R. A. F.; BAIÃO, T. C. **Restauração de APPs degradadas e a viabilização do sequestro de carbono: estudo de uma bacia hidrográfica urbana no município de Passos - MG**. Minas Gerais: 2015. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/4347>. Acessado em: Ago, 2022.

MARENCO, J. A.; VALVERDE, M. C. Caracterização do clima no século XX e cenário de mudanças de clima para o Brasil no século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. **Revista MultiCiência**, v. 8, p. 5-28, Campinas, 2007. Disponível em: https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/marengo_valverde_caracterizacao_2007.pdf. Acessado em: Ago, 2022.

MARENCO, J. *et al.* **Caracterização do Clima Atual e Definição das Alterações Climáticas para o Território Brasileiro ao longo do Século XXI**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente

(MMA), 2007. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/wp-content/uploads/sites/36/2014/05/caracterizacaoclima.pdf>. Acessado em: Ago, 2022.

MILLER JR, G.T. **Ciência Ambiental**. 11 ed. São Paulo: Thomson, Cengage Learning, 2007.

MOUTINHO, P. Biodiversidade e Mudança Climática sob um Enfoque Amazônico. *In*: ROCHA, C. *et. al.* **Biologia da Conservação: Essências**. São Carlos: RIMA, 2006.

NOBRE, C. **Mudanças Climáticas e o Brasil: contextualização**. Parcerias Estratégicas, Brasília, n. 27, pp. 7-17, dez. 2008. Disponível em: http://www.cgee.org.br/prospeccao/doc_arq/prod/registro/pdf/regdoc5029.pdf. Acessado em: Ago, 2022.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.1609-1623, 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/5yDMRDk5mBCzvvWV9jH37rt/>. Acessado em: Ago, 2022.

OLIVEIRA, E.; REATTO, A.; ROIG, H. L.; Estoques de Carbono do Solo Segundo os Componentes da Paisagem. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**. Brasília, v. 32, n.1/2, p. 71-93, jan./ago. 2015. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/138868/1/Estoques-de-carbono-do-solo.pdf>. Acessado em: Ago, 2022.

SAMBUICHI, R. H. R. *et al.* **Sustentabilidade ambiental da agropecuária brasileira: impactos, políticas públicas e desafios**. Brasília: IPEA, 2012. p. 147. (Texto para Discussão, n. 1.782). Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1050/1/TD_1782.pdf. Acessado em: Ago, 2022.

SANTANA, A.L.S; ARAÚJO, G. L. **Erosão do solo em uma propriedade rural no município de Abre Campo (MG)**. Anais...*In*: III SEMINÁRIO CIENTÍFICO DA FACIG / II JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA FACIG, 2017. Disponível em: <http://pensaracademico.facig.edu.br/index.php/semiariocientifico/article/view/368/306>. Acessado em: Ago, 2022.

SILVA R. W. C., PAULA B. L. 2009. Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural. **Terræ Didática**, 5(1):42-49. Disponível em: https://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v5/pdf-v5/TD_V-a4.pdf. Acessado em: Ago, 2022.

ZILBERMAN, I. **Introdução à Engenharia Ambiental**. ULBRA, 1997.

WATSON, R. T. *et al.* **Climate change 2001: synthesis report: third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)**. Cambridge: IPCC: Cambridge University Press, 2001.

CAPÍTULO 13

PANORAMA DO APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS DOS TRATAMENTOS DE ESGOTO SANITÁRIO E DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Larissa Jonaly Rodrigues
Adriana Paula Ferreira Palhares

RESUMO

O biogás é um produto sustentável que se apresenta como uma alternativa promissora para o cenário energético nacional. Essa matéria-prima pode ser utilizada para a geração de energia elétrica, térmica, mecânica e convertida em biometano. Além da contribuição ambiental, o aproveitamento energético do biogás garante a recuperação de recursos antes descartados. O setor de saneamento é responsável pelo maior volume de biogás produzido, assim, o presente trabalho tem como objetivo geral traçar um panorama do aproveitamento do biogás proveniente do saneamento. Para isso, foi realizada uma revisão da literatura mais recente, a partir de documentos científicos publicados na última década. Através dessa análise, foi observado que a aplicação e produção do biogás no Brasil ainda é incompatível com o seu potencial. Acredita-se que partindo das municipalidades, o potencial que hoje o biogás tem no Brasil pode, de fato, sair de meras expectativas e tornar-se realidade. É preciso então que o poder público crie maiores incentivos para que a produção e implementação do biogás alcance o máximo desse potencial, principalmente através dos resíduos sólidos urbanos e do esgoto sanitário, contribuindo assim para a modernização e maior sustentabilidade da matriz energética brasileira, impulsionando também a geração de emprego e renda, bem como maior potencial econômico às empresas que implementarem o uso desse produto em seus processos.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás. Esgoto Sanitário. Resíduos Sólidos Urbanos. Sustentabilidade. Matriz Energética Brasileira.

1. INTRODUÇÃO

Levando em consideração a problemática ambiental, surge um debate mundial sobre o consumo consciente, recursos naturais, mudanças climáticas, e principalmente sobre a segurança energética dos países. A demanda por energia é suprida pelo conjunto de fontes de energia disponíveis, ou seja, pela matriz energética, a qual se compõe de fontes renováveis e não renováveis. No Brasil, diferente da realidade mundial, observa-se que a matriz energética é diversificada, tendo quase metade proporcionada por fontes renováveis, com destaque para a fonte hidroelétrica (MATRIZ, 2022). Todavia, o desabastecimento de água e o racionamento de energia elétrica somam-se aos impactos ambientais gerados pela produção de energia através de fonte hídrica e seu alto custo repassado ao consumidor.

Neste contexto o biogás surge, dentre as novas fontes de energia renováveis, como uma alternativa sustentável que pode ser agregada para otimizar o cenário energético do Brasil. O biogás pode ser utilizado como fonte de energia elétrica, térmica, mecânica e convertida em biometano. Além de contribuir para o meio ambiente o aproveitamento energético do biogás também promove a recuperação de recursos antes descartados. O biogás é composto majoritariamente de metano (65%) e de dióxido de carbono (35%), além de 5% de outros gases,

cujo tipos e percentuais variam em conformidade com as peculiaridades dos resíduos e as condições de funcionamento do processo de digestão (PRATI, 2010).

O Brasil é considerado o país com maior potencial de produção de biogás em nível mundial, possuindo matéria prima para atender a 70% do consumo interno de diesel e 40% do consumo de eletricidade, uma vez que o país possui altas quantidades de resíduo sólido urbano, de saneamento e agroindustriais; além disso, o biogás tem recebido atenção política e regulamentadora. No entanto, o Brasil explora apenas 2% do seu potencial, uma vez que ainda apresenta custos de produção elevado, prejudicando assim sua expansão e aplicação em grandes centros urbanos. Mas o biogás pode ser produzido exclusivamente a partir de resíduos sólidos urbanos, de saneamento e agroindustriais, ampliando o potencial energético, sem demanda por plantações ou inutilização de áreas de cultivo, aproveitando os resíduos que hoje são desperdiçados (ABILOGÁS, 2021 e 2022).

No ano de 2021 o Brasil produziu 2,35 bilhões de Nm³ de biogás com 55 plantas em operação, aumentando em 10% a produção em relação ao ano de 2020 (2,14 bi Nm³/ano), ou seja: aumento da descarbonização do ecossistema sustentável brasileiro a partir da gestão de resíduos. Para 2022 a estimativa de crescimento na produção é de mais de 22%, com o início da operação de 56 plantas que se encontravam em implantação e reforma no ano de 2021, podendo ultrapassar os 2,8 bilhões de Nm³/ano de biogás. O setor agropecuário possui a maior representatividade quanto ao número de plantas em operação no ano de 2021 (80%), enquanto o setor industrial e o setor de saneamento contribuíram em 11% e 9%, respectivamente. Porém o setor de saneamento foi responsável por 74% do volume total de biogás produzido, seguido pelos setores industrial (16%) e agropecuário (10%). Destaca-se que quase toda a produção de biogás no país é direcionada à geração de energia elétrica. No ano de 2021, 87% das plantas em operação destinaram 71% do volume de biogás brasileiro para geração de energia elétrica (CIBILOGÁS, 2022).

Conforme dados publicados pela FGV (2019), o uso de resíduos de esgotamento sanitário e resíduos sólidos urbanos como biomassa para produção de biogás vem crescendo internacionalmente e no Brasil tem grande potencial para geração de oportunidades e novos negócios. Ademais, essa lógica de aplicação desses resíduos contribui para a minimização dos impactos sobre o ecossistema e para um aproveitamento social e econômico mais inteligente.

O Marco Legal do Saneamento Básico, aprovado em 2020, visa a democratização ao acesso aos serviços de saneamento no país. Com isso, espera-se aumentar o potencial do biogás em 3 milhões de m³/dia, oriundo do biogás gerado nas estações de tratamento de esgotos

(ETEs). Isso significa um aumento de mais de 85% no potencial de geração dessa origem. O volume representa cerca de 10% da meta da ABiogás, que prevê o potencial de entrega de 30 milhões de m³/dia a partir do biocombustível em 2030 (CHIAPPINI, 2020; BIOGÁS..., 2020). Nesse contexto, esse estudo visa analisar o aproveitamento do biogás proveniente do saneamento, a partir da avaliação de diferentes aspectos relacionados à produção e à aplicação desse produto.

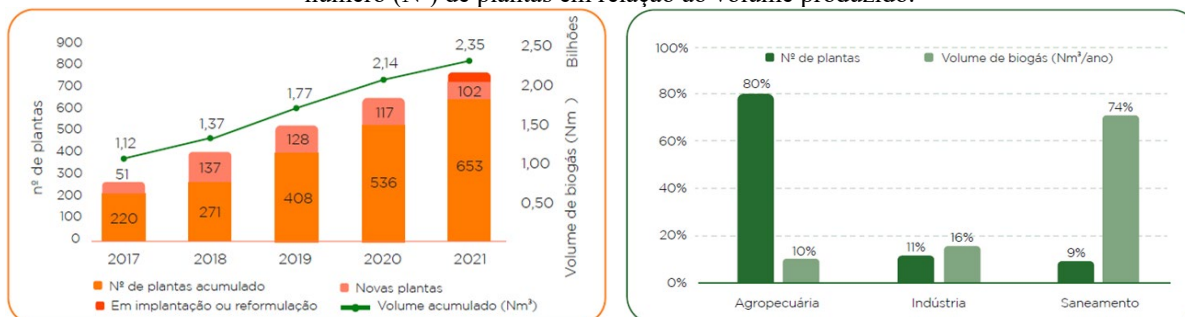
2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. O cenário nacional do biogás

No cenário pós pandemia, o setor de biogás nacional segue em crescimento. Segundo a ABiogás, é crescente o desenvolvimento da indústria nacional de fornecedores de bens e serviços para o setor de biogás e isso tem ajudado a diminuir os custos de instalação de plantas de biogás e biometano no país (CIBIOGÁS, 2022).

O total de plantas de biogás cadastradas no Brasil no ano de 2021 foi de 811, onde 755 já estavam em operação. Outras 102 foram cadastradas ao longo de 2021 resultando em 2,3bi Nm³/ano de biogás em operação mais 209 mil Nm³/ano em 2021. Em 2021, houve um aumento de 16% no número de plantas em operação, que produziram 2,3 bilhões de Nm³ de biogás, significando um aumento de 10% no volume de biogás produzido em relação ao ano de 2020. Para 2022, é esperado um crescimento de mais de 22%, com o início da operação de 56 plantas que estão em fase de implantação ou em reforma. Com isso, espera-se alcançar uma produção anual de pelo menos 2,8 bilhões de Nm³ de biogás (CIBIOGÁS, 2022). O crescimento do setor de biogás entre 2017 e 2021 está apresentado na Figura 1 à esquerda, e o número de plantas em relação ao volume produzido, à direita.

Figura 1: Crescimento do setor de biogás entre 2017 e 2021: (à esquerda) plantas em operação; (à direita) número (Nº) de plantas em relação ao volume produzido.



Fonte: CIBiogás (2022).

Em relação às fontes de substrato, em 2021, o setor agropecuário foi responsável por 80% das plantas de biogás em operação no país, mas apenas por 10% do volume de biogás

produzido. Isso acontece porque a maioria das plantas de biogás deste segmento no país são usinas de pequeno porte que geram energia para consumo próprio e raramente geram alguma produção excedente. Por outro lado, os setores industrial e de saneamento contribuíram em 11% e 9%, respectivamente, no número de plantas. Quanto ao volume de biogás, o setor de saneamento foi responsável por 74% do volume total produzido, seguido pelos setores industrial (16%) e agropecuário (10%), conforme demonstrado à direita na Figura 1. É importante destacar que a natureza/composição do resíduo de cada setor deve ser responsável por esses números (CIBIOGÁS, 2022).

A principal aplicação energética do biogás produzido pelas plantas nacionais é para geração de energia elétrica. Em 2021, 87% das unidades em operação utilizaram esta fonte energética para tal finalidade, resultando no uso de 71% do volume de biogás produzido para geração de energia elétrica. Essa produção equivale a um potencial energético de mais de 1 milhão de residências. Quanto ao aproveitamento térmico do biogás, esse é feito em 11% das plantas em operação para diversas finalidades, como secagem de grãos, queima em caldeiras para produzir vapor, aquecimento e secagem de lodos de esgotos, gerando 7% do volume de biogás produzido em 2021. Unidades que utilizam o biogás para produzir energia mecânica movimentando turbinas, por exemplo, somam 6 plantas, ou seja, 1% do total nacional, e correspondem a 0,3% do volume de biogás produzido em 2021 (CIBIOGÁS, 2022).

2.2. O biogás

No final do século XVI, ao identificar a presença de substância gasosa inflamável na superfície de regiões pantanosas, o homem constatou a possibilidade de gerar gases combustíveis. Após diversos estudos, notou-se que tais gases de composição até então desconhecida e com odor forte relacionavam-se à decomposição da matéria orgânica proveniente dessas regiões pantanosas. No entanto, foi somente em 1776 que o físico italiano Alessandro Volta identificou a composição de tal gás e reconheceu a presença de gás metano (CH₄) no gás pantanoso (SOARES; SILVA, 2010). No século XIX, Ulysse Gayon, discente de Louis Pasteur, misturou estrume e água a 35°C, submeteu essa mistura a uma fermentação anaeróbica e produziu 100 litros de gás por metro cúbico de matéria. Em 1884, o próprio Louis Pasteur demonstrou que esse gás poderia ser usado como combustível para alimentar sistemas de iluminação urbana e aquecimento. A primeira aplicação de gás metano produzido por digestão anaeróbica em escala ocorreu em 1859, em um hospital na Índia. Trinta anos mais tarde o biogás foi empregado para iluminação publicada em vias públicas da cidade de Exeter, na Inglaterra (VILLELA; SILVEIRA, 2005).

De acordo com Aquino *et al.* (2014), somente em 1911, na Grã-Bretanha, que o primeiro biodigestor que obteve biogás por meio de resíduos orgânicos foi desenvolvido. Impulsionado pelos problemas de abastecimento decorrente da Segunda Guerra Mundial, houve a demanda por novas fontes de energia para atender as necessidades de aquecimento de casas e cozinhas ou até mesmo para uso em motores a combustão. Assim, diversas instalações de biodigestores foram criadas, mas se mantiveram apenas em países com poucas fontes de energia e capital, como Índia e China, especialmente em suas áreas rurais, dada a abundância relativa das fontes tradicionais de energia, em conjunto com seu baixo custo de produção e eficiência na maioria dos países desenvolvidos (VILLELA; SILVEIRA, 2005).

Assim, com o tempo o biogás acabou sendo deixado de lado, sendo considerado apenas um subproduto obtido por meio da decomposição anaeróbica de resíduos sólidos, esgotos domésticos e resíduos de animais (BATISTA, 2016) e aplicado como um complemento às fontes tradicionais de carvão e petróleo (SOARES; SILVA, 2010). Na década de 1970 a crise do petróleo resultou em uma elevação considerável no preço internacional dos combustíveis, levando muitas nações a adotarem um sistema de racionamento e a desenvolverem fontes alternativas de energia (FERRER, 2006) e o biogás se tornou um combustível ambientalmente e economicamente atrativo.

O biogás consiste em uma mistura gasosa de dióxido de carbono e metano, que se assemelha ao gás natural, porém com menor poder calorífico. A produção natural ocorre em meio anaeróbico por meio da ação de bactérias em matéria orgânica, que fermentam em determinadas condições de temperatura, pH e teor de umidade. Já a produção artificial, ocorre por meio de um equipamento denominado biodigestor anaeróbico com uso de dejetos e rejeitos como matéria-prima (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2008). Zanette (2009) complementa que além do metano e do dióxido de carbono, associam-se ainda pequenas quantidades de amônia e ácido sulfúrico, e traços de nitrogênio, hidrogênio, carboidratos saturados ou halogenados, monóxido de carbono e oxigênio podem ocasionalmente compor o biogás. Em geral, a mistura gasosa é saturada com vapor d'água e ainda pode conter material particulado e compostos orgânicos contendo silício.

É importante destacar que a composição e conteúdo energético do biogás depende do material orgânico usado como fonte do biogás (o que atribui nomes distintos ao mesmo: gás de aterro, gás de esgoto, gás de lixo, gás de dejetos, gás de lodo, entre outros) e do processo de produção empregado conforme reportado na Tabela 1. Conforme Piñas *et al.* (2016), o potencial calorífico do biogás varia de 5000 a 7000 kcal/m³ (21 a 29 MJ/m³) sendo considerado um

material renovável que pode produzir diversos tipos de energia e com capacidade para substituir os combustíveis fósseis, pois sua queima gera menos gases poluentes. Segundo Kapdi *et al.* (2005), o biogás também não apresenta efeitos tóxicos, uma vez que o teor de monóxido de carbono é considerado baixo (< 0,1%). Porém a presença de pequenas quantidades de outros compostos químicos como sulfeto de hidrogênio (H₂S) e/ou enxofre (considerado poluente do ar), confere ao biogás um efeito corrosivo, sendo preciso o emprego de materiais especiais nos equipamentos.

Tabela 1: Características e composições típicas do biogás.

Parâmetros	Gás de aterros ¹	Biogás – digestão anaeróbica ²
Poder calorífico inferior (MJ/Nm ³)	16	23
Metano - CH ₄ (%vol)	35-65	53-70
Dióxido de carbono - CO ₂ (%vol)	15-50	30-47
Nitrogênio - N ₂ (%vol)	5-40%	-
Ácido sulfídrico – H ₂ S (ppm)	<100	<1000
Amônia – NH ₃ (ppm)	5	<100

¹ produzido a partir da matéria orgânica de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários.

² produzido a partir da matéria orgânica de resíduos agropecuários em reatores anaeróbicos.

Fonte: Persson, Jönsson e Wellinger (2006).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Trata-se de uma pesquisa bibliográfica exploratória descritiva, por meio da análise e levantamento de dados de documentos científicos publicados na literatura na última década, acessados das plataformas Google Acadêmico e Scielo, além de sites especializados. Inicialmente foi realizado um levantamento de informações sobre o cenário nacional do biogás e sua definição. A partir do cenário constatado, delimitou-se o setor de interesse para aprofundar a pesquisa: o biogás proveniente do saneamento, devido ao maior volume de produção. As publicações foram selecionadas buscando-se a produção de biogás por meio de resíduos de saneamento básico (RSB) e resíduos sólidos urbanos (RSU) na última década. Assim procurou-se detalhar as principais composições desse biogás, suas aplicações, processos e implicações neste setor, de forma a se esquematizar um panorama no Brasil.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Resíduos de saneamento básico e resíduos sólidos urbanos

Conforme a Lei 11.445 (BRASIL, 2007), o saneamento se constitui pelos serviços de abastecimento de água, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos, esgotamento sanitário, drenagem e manejo de águas pluviais. Dentre os diversos tipos de resíduos gerados das ofertas dos serviços de saneamento classificados de acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (BRASIL, 2010), destacam-se aqui os Resíduos dos Serviços de Saneamento

Básico (RSB), com foco nos resíduos de tratamento de esgotos e Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) com foco nos resíduos destinados em aterros.

De acordo com o Sistema Nacional de Informação sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos – SINIR (RESÍDUOS..., 2022a), os Resíduos dos Serviços de Saneamento Básico (RSB) são originários dos serviços de abastecimento de água potável, da drenagem e manejo das águas pluviais e do esgotamento sanitário, sendo esse último chamado de águas residuárias ou simplesmente esgotos. Esses resíduos apresentam um grande potencial poluidor e contaminador aos recursos naturais quando não são gerenciados de modo adequado. O Brasil produz aproximadamente 81 milhões de toneladas de RSB. Em média, 80% da água captada nos mananciais, tratada e disponibilizada à população pelas redes públicas para consumo, transformam-se em esgoto posteriormente ao uso doméstico. Os chamados efluentes domésticos são formados por 99,9% de água e 0,1% de sólidos (RESÍDUOS..., 2021). De acordo com Sadeck (2022) 100 milhões de brasileiros não têm acesso à coleta de esgoto. Ademais, apenas 50% do volume de esgoto do país recebe tratamento, o que equivale a mais de 5,3 mil piscinas olímpicas de esgoto *in natura* sendo despejadas diariamente na natureza. Conforme o SINIR (2021) as redes de esgotos abrangem 55% da população total (114,6 milhões de habitantes) e 63,2% da população urbana (112,4 milhões habitantes). Ainda, dos 6 bilhões de m³/ano de esgoto coletado, apenas 4,8 bilhões de m³/ano foram tratados. Esses rejeitos sólidos são, em sua maioria, constituídos por matéria orgânica em decomposição, originada de fezes e de atividades humanas em pias, tanques, máquinas de lavar, chuveiros entre outros. Quando despejado nos rios sem tratamento, altera a composição natural daquele ecossistema, trazendo danos para a fauna e a flora aquática e os seres humanos que vivem no entorno (PROBLEMAS..., 2020).

Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), por sua vez, consistem naqueles resultados de atividades domésticas e limpeza urbana de vias e espaços públicos, além dos demais serviços de limpeza urbana (RESÍDUOS..., 2022b). Segundo a NBR 10.004 (2004), a composição dos RSU é variável e depende das características da população que o produziu, a variar conforme os hábitos, condições de vida e situação socioeconômica. Basicamente são formados por matéria orgânica constituída por alimentos, resíduos verdes e madeiras (45,3%); resíduos recicláveis secos como plásticos, papéis, vidros, metais e outros (33,6%); óleos, tecidos, couros e borrachas (5,6%); e rejeitos, especialmente sanitários consistem em 15,5% (ABRELPE, 2021). Conforme o SINIR (RESÍDUOS..., 2022a), considerando os aspectos econômicos, técnicos, sociais, ambientais e políticos, inexistente uma solução universal para o tratamento e

disposição final desses resíduos, assim as opções devem ser estudadas e analisadas de modo individual. Conforme a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – Abrelpe (2021), no ano de 2020 foram produzidas 82.477.30 toneladas de RSU no Brasil, uma média de 390 kg/hab/ano, cuja maior parte (46 milhões de toneladas) seguiu para disposição em aterros sanitários. Os dados indicam que mais de 60% dos resíduos coletados no país tiveram destinação adequada. Por outro lado, áreas de disposição inadequada, incluindo lixões e aterros controlados, ainda estão em operação e receberam quase 40% do total de resíduos coletados. De acordo com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a destinação de resíduos consiste na reutilização, compostagem, reciclagem, recuperação, aproveitamento energético e outras destinações admitidas pelos órgãos competentes, desde que respeitadas normas operacionais específicas que evitem danos ou riscos à saúde e à segurança pública, minimizando os impactos ambientais adversos (ABRELPE, 2021).

4.2. Formação e composição de biogás proveniente do tratamento de esgotos e dos aterros de resíduos sólidos urbanos

Os processos de tratamento de esgotos são divididos em biológicos e físico-químicos, sendo que a geração de gases capaz de produzir energia ocorre por meio dos tratamentos biológicos de esgoto, ou seja, aqueles que utilizam microrganismos ou algas para degradação da matéria orgânica (GUIMARÃES; NOUR, 2001).

Nos tratamentos biológicos de esgotos a digestão anaeróbica é o processo mais usado para estabilizar a matéria orgânica, resultando no biogás rico em metano (Tabela 2), o que viabiliza a geração de energia, além da produção de biofertilizante como subproduto, que pode ser aplicado em solos agrícolas a fim de repor nutrientes (CASSINI, 2003). A digestão anaeróbia é o processo de degradação biológica da matéria orgânica em condições de ausência de oxigênio que ocorre em etapas sequenciais, sendo cada uma delas caracterizadas pela atividade de grupos específicos de microrganismos e somente na última etapa, chamada metanogênese, é formado o biogás, dentre outros subprodutos. Em uma ETE, os substratos para a produção do biogás são o esgoto e o lodo (PROBIOGÁS, 2017a).

Cabe destacar que a composição do biogás proveniente de resíduos do tratamento de esgotos sanitários possui uma composição mais diversificada daquele proveniente do tratamento de resíduos sólidos urbanos, conforme o levantamento das composições de biogases obtido nos trabalhos disponíveis na literatura reportado na Tabela 2. Destaca-se que a presença de H₂S faz com que esse biogás tenha características corrosivas, por isso, sua produção é direcionada, principalmente, para geração de energia elétrica.

Tabela 2: Composição do biogás proveniente do tratamento dos esgotos sanitários e do tratamento dos resíduos sólidos urbanos.

Componentes do Biogás	Fontes do Biogás	
	Tratamento de esgotos sanitários	Tratamento dos resíduos sólidos urbanos
Metano – CH ₄ (%vol)	60 - 85	30 – 92,5
Dióxido de Carbono – CO ₂ (%vol)	5 - 24,1	0,3 - 45
Nitrogênio – N ₂ (%vol)	6,7 - 25	5 – 6,7
Hidrogênio – H ₂ (%vol)	0 – 3	traços
Ácido Sulfídrico – H ₂ S (ppm)	1000 a 2000	traços
Monóxido de Carbono – CO (%vol)	0 – 0,3	-
Oxigênio – O ₂ (%vol)	0,4 – 1,6	-
Siloxanos	traços	-

Fonte: Adaptado de Cancelli (2013), Chernicharo e Stuetz (2008), Silva (2015), Piñas *et al.* (2016), Ruiz (2013) e Soares e Lopes (2019).

Além disso, Chernicharo e Stuetz (2008) reportaram que em algumas situações o biogás pode conter siloxanos em sua composição, resultantes da degradação anaeróbia de produtos como desodorantes, cosméticos, sabões e aditivos de alimentos. Durante o processo de combustão de biogás compostos por siloxanos decorre a formação de depósitos de SiO₂ ou silicatos (Si)_x e, ainda, cálcio, enxofre, zinco e fósforo. Esses elementos podem depositar-se na forma de microcristais sobre as peças das câmaras de combustão de motores e de turbinas a gás, resultando em incrustações, abrasão, corrosão e diversos outros prejuízos que afetam a vida útil dos equipamentos e, conseqüentemente, potencializando seu aproveitamento para o setor de energia elétrica.

Quando os resíduos sólidos urbanos (RSU) são depositados nos aterros seu potencial de contaminação se torna evidente, pois tem início o processo de biodegradação que consiste em reações químicas, físicas e biológicas, resultando na produção de chorume e biogás. O chorume líquido de coloração escura e odor desagradável, apresenta altas cargas orgânicas e inorgânicas e várias espécies de microrganismos. Segundo o Corrêa (2018) um aterro de resíduos sólidos pode ser considerado como um reator biológico onde as principais entradas são os resíduos e a água, e as principais saídas são os gases e o chorume. A decomposição da matéria orgânica ocorre primeiramente pelo processo aeróbico na etapa de deposição do resíduo e, após este período, a redução da quantidade do O₂ presente nos resíduos dá origem ao processo de decomposição anaeróbia.

Desta forma observa-se que, diferentemente do biogás proveniente do tratamento de esgotos sanitários, CO e O₂ não estão presentes na composição do biogás proveniente de resíduos sólidos urbanos e há baixas concentrações de H₂ e H₂S (Tabela 2), o que justifica o fato deste biogás ser bastante utilizado para geração de energia térmica e elétrica em equipamentos. Vale mencionar a diversidade de composições do biogás proveniente dos aterros

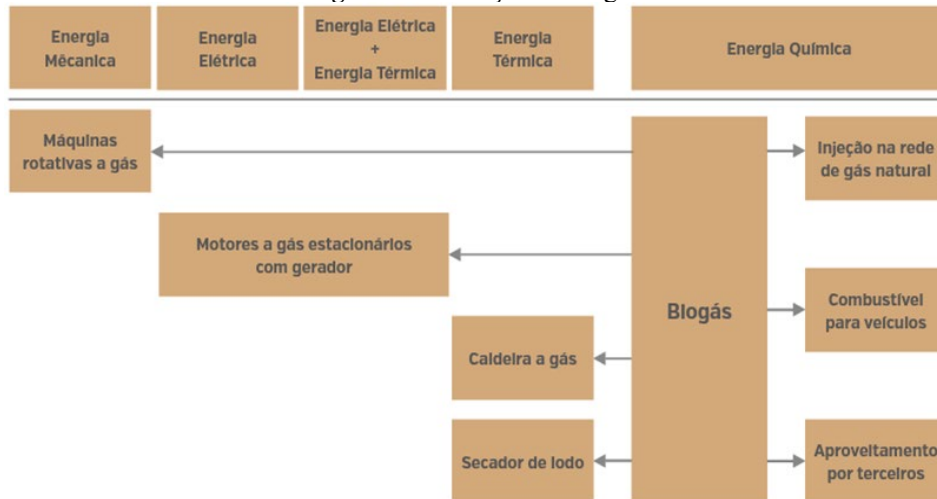
e a alta variação na percentagem de metano. Ruiz (2013) analisou e identificou grandes diferenças nas composições do biogás de aterros de RSU: 52% CH₄, 42% CO₂ e 5% N₂, em uma primeira análise, e 92,5% CH₄, 6,7% N₂ e 0,3 % CO₂, em uma segunda análise. Segundo o autor, as diferenças nas composições de cada análise devem-se ao material ser oriundo de lugares diferentes.

4.3. Aproveitamento energético do biogás

O biogás resultante do processo de tratamento de esgotos pode ser utilizado para cozinhar alimentos, iluminação, refrigeração de alimentos e aquecimento de água; para geração de calor em caldeiras, fornos e estufas; para geração de eletricidade e uso na própria ETE ou nas áreas vizinhas; na cogeração de eletricidade e calor; e como combustível alternativo visando a injeção na linha de gás natural ou o aproveitamento como combustível de carros (TRATAMENTO..., 2020). Há, inclusive, alguns debates com relação a utilização do biogás nos transportes públicos, o que seria uma maneira ecologicamente viável de reaproveitar esse subproduto do tratamento de esgotos. A Figura 2 (PROBIOGÁS, 2017b) esquematiza utilizações para o biogás.

Para cada uso, no entanto, é necessário um nível diferente de tratamento do biogás, tais como a remoção do gás sulfídrico ou a remoção do gás carbônico para atingir um maior grau de pureza de metano (TRATAMENTO..., 2020). Para a purificação do biogás proveniente do esgoto sanitário ressaltam-se as técnicas tradicionais de limpeza do gás (do inglês, *cleanup*) para remoção de siloxanos, sulfeto de hidrogênio, água, oxigênio, nitrogênio e partículas em suspensão presentes em diferentes concentrações, responsáveis pela corrosão e pelo desgaste mecânico de diversos equipamentos. Já para o biogás proveniente de resíduos sólidos urbanos de aterros sanitários destacam-se as técnicas com objetivo de ajustar o poder calorífico já que este gás possui um aproveitamento mais diversificado que o proveniente de esgoto sanitário. O ajuste do poder calorífico é baseado na remoção do dióxido de carbono para o aumento da concentração de metano e também da densidade energética. Essa purificação, diferente da limpeza do gás, envolve tecnologias de adsorção e absorção, além de alguns processos em consolidação (permeação e criogenia) e, por isso, são os grandes destaques nos estudos de purificação do biogás (BORSCHIVER; SILVA, 2014). A Tabela 3 apresenta os principais processos utilizados para purificação do biogás de acordo com as impurezas que devem ser eliminadas.

Figura 2: Utilização do biogás.



Fonte: Probiogás, 2017a.

O melhor aproveitamento do biogás deve levar em consideração os aspectos econômicos e ambientais. Assim, é preciso elaborar um projeto energético específico para cada situação, abrangendo diferentes modelos de operação como carga básica, energia de emergência e pico de carga (PROBIOGÁS, 2017b). Batista (2016) analisou o potencial energético do biogás de RSB produzido na ETE de um condomínio residencial e constatou a baixa vazão do biogás produzido, não possuindo potencial para atender a demanda energética da própria estação. Apesar disso, prevendo cenários para aplicação, verificou que o volume produzido era capaz de atender a demanda de banhos quentes diários do condomínio alternativamente ao uso de chuveiros elétricos, com capacidade de aquecer a água até 46,5°C e proporcionar uma economia média de R\$4.645,20 em um período de dois meses.

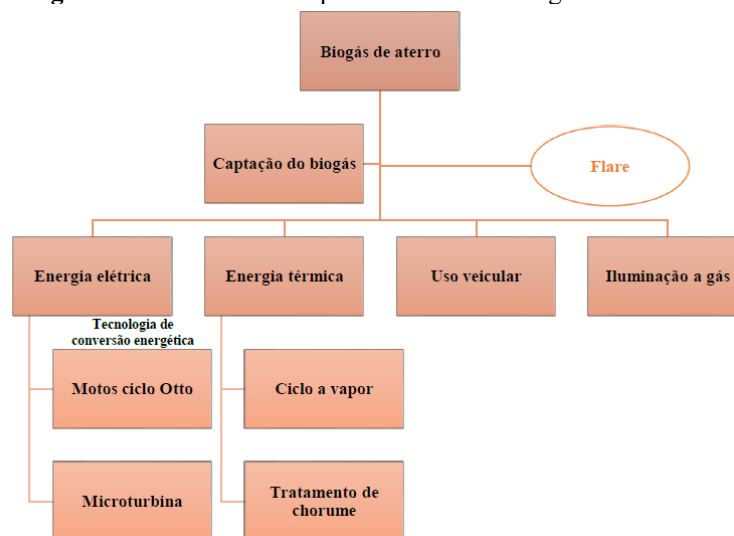
A fim de viabilizar o emprego do biogás de RSU proveniente de aterros sanitários, Montagna (2013) apresentou alternativas conforme ilustrado no diagrama da Figura 3. Assim, o biogás proveniente de aterro pode ser empregado para geração de energia elétrica, geração de energia térmica, uso como combustível veicular ou em iluminação a gás.

Tabela 3: Tecnologias de purificação do biogás.

Impurezas	Tecnologia de Purificação
Sulfeto de Hidrogênio	Precipitação/ Absorção Química/ Adsorção em carvão ativado/ Tratamento biológico
Siloxanos	Resfriamento/ Absorção em mistura líquida de hidrocarbonetos/ Adsorção em carvão ativado, alumínio e sílica em gel/ Co-separação com sulfeto de hidrogênio
Água	Resfriamento/ Compressão/ Absorção/ Adsorção
Oxigênio e Nitrogênio	Adsorção em carvão/ Peneira molecular ou membranas
Particulados	Filtro mecânico

Fonte: Adaptado de Borschiver e Silva, 2014.

Figura 3: Alternativas de aproveitamento do biogás de aterro.



Fonte: Adaptado de Montagna (2013).

Segunda Montagna (2013), independente do uso final do biogás produzido no aterro, é necessário um sistema padrão de coleta, tratamento e queima do biogás: poços de coleta, sistema de condução, tratamento (inclusive para desumidificar o gás), compressor e *flare* com queima controlada para a garantia de maior eficiência de queima do metano. O *flare*, em especial, é utilizado para projetos destinados a obtenção de créditos de carbono e, conseqüentemente, retorno financeiro: caso haja falha no sistema de geração de energia, a emissão de metano para a atmosfera é evitada e, conseqüentemente, a perda de créditos de carbono. Esses créditos de carbono basicamente são selos de qualidade e comprometimento que favorecem o marketing e agregam valor aos produtos e serviços da empresa.

Martins (2018) analisou o potencial de geração de biogás oriundo de RSU no município de Bento Gonçalves – RS e identificou um potencial de $2,8 \text{ GgCH}_4 \cdot \text{ano}^{-1}$, o que seria possível abastecer 16 ônibus da frota urbana diariamente. Em um segundo cenário, o autor analisou o potencial de geração de biogás oriundo de RSU dos municípios de Bento Gonçalves, Carlos Barbosa, Garibaldi e Farroupilha, e constatou um potencial anual de geração de biogás de $5,9 \text{ GgCH}_4$. Com essa produção seria possível abastecer 35 ônibus da frota intermunicipal diariamente.

A transformação de resíduos em fonte energética aumenta o faturamento dos mais diversos setores industriais (agroindústrias, transportes, tabaco, cervejarias, montadoras etc) e reduz seus custos, além de contribuir de maneira positiva com a problemática ambiental, pois a indústria pode produzir seu próprio combustível com resíduos orgânicos decorrentes de sua atividade, transformando um passivo ambiental num ativo energético. O biogás quando

empregado a partir de um investimento estratégico, contribui para o aumento na competitividade, possibilitando a ampliação das fontes e atualização da matriz energética nacional e atrai investidores para o setor. Ainda, possibilita a minimização dos prejuízos no contexto da gestão de resíduos, demasiada poluição do ar por meio dos combustíveis fósseis, alta demanda por energia e uso da madeira e carvão para gerar valor (REIS, 2021).

No contexto regional, o biogás torna-se protagonista em uma economia circular, uma vez que resíduos antes desperdiçados, retornam como fonte de renda, incentivando a sustentabilidade ambiental, econômica e social de uma localidade. Em maiores escalas, como em indústrias e fábricas, torna-se uma estratégia de desenvolvimento sustentável, inovação e infraestrutura. Como resultado disso, ultrapassam as vantagens de concretização dos propósitos oriundos da implementação do biogás e do biometano em grande escala. Em indústrias o biogás proporcionará uma revolução nas concepções sobre tudo o que era consumido anteriormente, como os combustíveis fósseis (REIS, 2021).

Para exemplificar, a Tabela 4 (PROBIOGÁS, 2017a) apresenta algumas usinas de produção de biogás no Brasil e suas características.

4.4. Panorama do aproveitamento do biogás

Por fim, pode-se esquematizar um panorama de aproveitamento energético do biogás de tratamento de esgoto sanitário e de resíduos sólidos urbanos, conforme a Figura 4. No Brasil, a maior produção em volume do biogás é proveniente dos resíduos de saneamento, dentre os quais destacaram-se os resíduos sólidos urbanos e os esgotos sanitários. Com base no conjunto de referências estudadas, foi traçada a composição média do biogás proveniente dessas matérias-primas, sendo que de ambas as fontes, o biogás é constituído em sua maior parte pelo metano. Após os devidos tratamentos, há diversas possibilidades de utilização desses biogases que vão desde a produção de energia elétrica até a produção de combustível veicular. Todavia, são pouco utilizados nas indústrias.

Levando em consideração que a gestão dos resíduos de saneamento é de responsabilidade dos municípios e pensando nos aspectos técnicos, ambientais e econômicos, os resíduos de saneamento básico podem vir a contribuir de modo considerável nessas três esferas dentro das municipalidades.

Quanto aos aspectos ambientais, considerando que o gerenciamento dos resíduos de saneamento básico configura um problema para os municípios, a produção de biogás se mostra uma alternativa favorável para que as municipalidades gerenciem seus resíduos de modo

inteligente, rápido e sustentável. Além disso, destaca-se o elevado potencial de atuação para a descarbonização, já que sistemas eficientes de uso do biogás, especialmente quando aplicado para geração de energia, emitem até 95% menos gases de efeito estufa (GEEs) quando comparados aos sistemas de tratamento precários que não utilizam nenhum sistema de queima (ABIOGÁS, 2020). A Figura 5 apresenta uma estimativa de emissões de GEEs de sistemas de tratamento de esgoto do Brasil para 2019, 2023 e 2033.

Tabela 4: Exemplos de usinas de aproveitamento de biogás no Brasil.

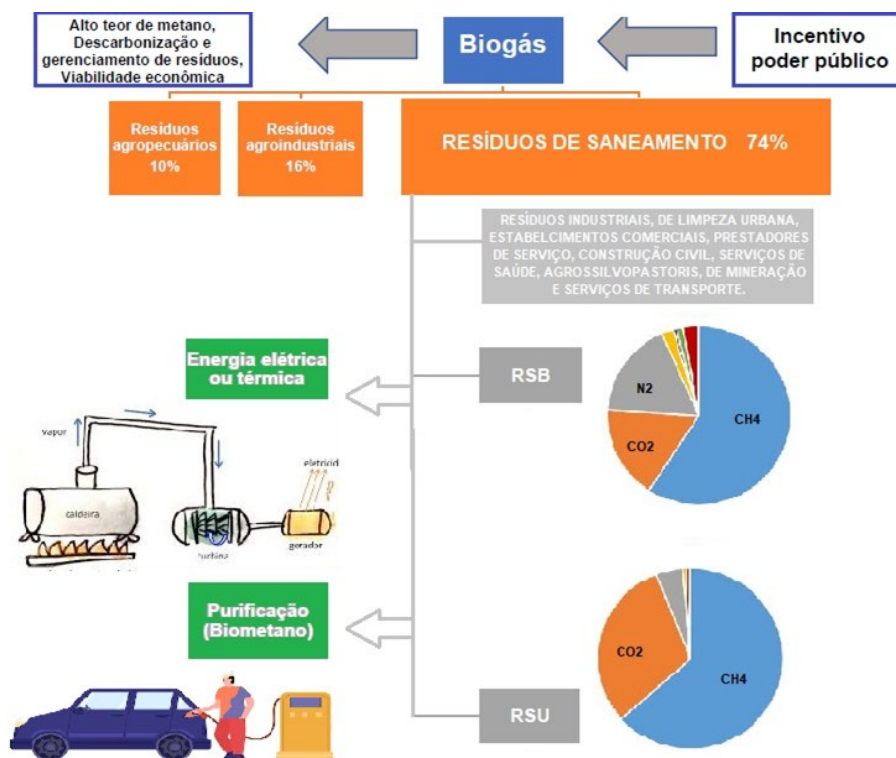
Usina	Cidade	Área de atuação	Aproveitamento de biogás	Capacidade de processamento	Potência instalada
Planta de Tratamento de Biogás do Aterro Sanitário Dois Arcos	Rio de Janeiro	RSU	Comercialização do biometano para o Supermercado Guanabara, que o usa para gerar eletricidade.	Até 1.200 m ³ /h de biogás	15 mil m ³ por dia de biometano, cerca de 5,5 milhões de m ³ por ano
CS Bioenergia S.A.	São José dos Pinhais	Tratamento de resíduo orgânico e lodo sanitário	Geração de Energia Elétrica	170 toneladas de orgânico e 900 m ³ de lodo de ETE	2,80 MW
Estação de Transferência do Caju/ TMethar - Túneis de Metanização	Rio de Janeiro	RSU	Produção de energia elétrica, térmica e biometano, além de composto para uso pela prefeitura	50 toneladas/dia	250kW (potência inicial)
ETE Ouro Verde/ Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar	Foz do Iguaçu	Saneamento Ambiental	Geração distribuída de energia elétrica	50 Nm ³ /dia de biogás	25 kVA
Piracanjuba – Laticínios Bela Vista Empresa responsável pela Implementação do projeto: ADI Sistemas Ambientais	Bela Vista de Goiás	Produção de laticínios	Uso de calor nos processos para fabricação de laticínios	38.000 Nm ³ /dia de biogás – atualmente em 10.000 Nm ³ /dia	8,7 MI kcal/h em geração de vapor (atualmente 2,3 MI kcal/h). Potência teórica aprox. em função do PCI do biogás de 81.00kWh.

Fonte: Probiogás, 2017a.

A ABiogás (2015) afirma que o biogás demanda uma política específica que considere sua complexidade em relação à localização do potencial, substratos, tecnologias e aplicação energética. A complexidade do biogás e as sinergias entre os vários benefícios como geração de energia e tratamento de resíduos e efluentes demandam uma política integrada horizontalmente (intersectorial) e verticalmente (federal, estadual, municipal). Nesse sentido, as políticas para o biogás que vêm sendo desenvolvidas em alguns estados brasileiros, como São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, são boas iniciativas. No entanto, são ações isoladas que deveriam ser respaldadas ou atender a uma política federal, num esforço maior para estimular a produção e uso do biogás como foi feito com outras fontes de energia renovável

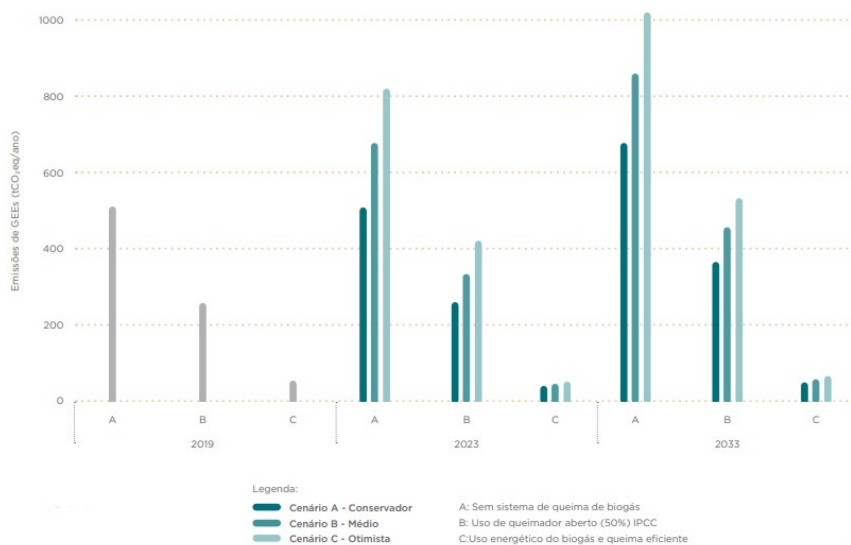
no Brasil. Em São Paulo, por exemplo, o Decreto 58.659/2012 instituiu o Programa Paulista de Biogás com a diretriz de incentivar a ampliação da participação de energias renováveis na matriz energética do estado de São Paulo, assim como estabelecer a adição de um percentual mínimo de biometano ao gás canalizado comercializado no estado.

Figura 4: Panorama de aproveitamento energético do biogás de tratamento de esgoto sanitário e tratamento de resíduos sólidos urbanos.



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 5: Estimativa de emissões de GEEs de sistemas de tratamento de esgotos do Brasil.



Fonte: ABiogás, 2021.

Na direção de políticas federais, a Comissão de Infraestrutura aprovou incentivos para a geração de energia em aterros sanitários por meio do projeto PLS 302/2018 que permite que estados e municípios criem incentivos fiscais, financiamentos e crédito para quem gera biogás e energia elétrica a partir de resíduos sólidos (FRAGOSO, 2022). Destaca-se também o Decreto 11.003/2022, que instituiu a Estratégia Federal de Incentivo ao Uso Sustentável de Biogás e Biometano com o objetivo de fomentar programas e ações para reduzir as emissões de metano, incentivar o uso de biogás e biometano como fontes renováveis de energia e combustível, e contribuir para o cumprimento de compromissos climáticos assumidos pelo país (BOECHEM, 2022).

Portanto o biogás pode contribuir em várias frentes: sanar o gargalo da gestão dos resíduos sólidos, produção de energia limpa e economia de custos com energia elétrica ou combustível, por exemplo. No entanto, é preciso que cada caso seja analisado a fim de constatar a viabilidade mediante a realidade municipal, estadual e federal. Mas acredita-se que partindo das municipalidades, o potencial que hoje o biogás tem no Brasil pode de fato sair de meras expectativas e tornar-se realidade, demonstrando o real interesse público nesse insumo que tanto tem a contribuir com a matriz energética nacional. Assim, espera-se que o poder público amplie os incentivos para que a produção e implementação do biogás alcancem um melhor aproveitamento já que a gestão de tais recursos está a cargo desse poder.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da análise da literatura, constatou-se que o biogás proveniente do saneamento geralmente possui alto teor de metano, mas sua composição varia de acordo com as peculiaridades dos resíduos e as condicionantes de funcionamento do processo de tratamento e digestão. Quanto às tecnologias para aproveitamento energético desse material, observou-se que existem inúmeras aplicações para o biogás de saneamento: geração de energia elétrica e térmica; combustível veicular; iluminação a gás; porém a aplicação depende diretamente da caracterização do gás produzido e do cenário a ser empregado.

Considerando os aspectos ambientais, o biogás constitui-se como uma alternativa favorável para que as municipalidades gerenciem seus resíduos de modo inteligente, rápido e sustentável, assim como, destaca-se com um potencial de atuação para a descarbonização. Com relação aos aspectos econômicos, ainda é preciso avaliar a viabilidade de produção por meio da análise da compensação entre a utilização de recursos descartados e dos altos custo de sua produção.

Ademais, apesar do potencial que o biogás apresenta no Brasil, sua aplicação e produção ainda é incompatível a esse potencial. Através de maiores incentivos poder público, é possível que o biogás alcance o máximo desse potencial, contribuindo assim para a modernização da matriz energética brasileira, com a sustentabilidade, além da geração de emprego e renda, bem como maior potencial econômico às empresas que implementarem o uso desse produto em seus processos.

REFERÊNCIAS

ABIOGÁS divulga novo potencial do biogás para o mercado brasileiro durante fórum em São Paulo. **ABIOGÁS**, 2021. Disponível em: <<https://abiogas.org.br/abiogas-divulga-novo-potencial-do-biogas-para-o-mercado-brasileiro-durante-forum-em-sao-paulo/>>. Acessado em: Jun. 2022.

ABIOGÁS. PNBB - Programa Nacional do Biogás e Biometano. Associação Brasileira do Biogás. São Paulo. 2015.

ABIOGÁS. POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO TRATAMENTO DO ESGOTO. **ABIOGÁS**, 2021. Disponível em: <<https://i17.org/documents/BEP-Nota-Tecnica-Potencial-de-Producao-Biogas-Esgoto.pdf>>. Acessado em: Ago. 2022.

ABRELPE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2021. ABRELPE. 2021.

AQUINO, G. T. *et al.* O uso do biogás no âmbito rural como proposta de desenvolvimento sustentável. **Revista Científica da Faculdade de Educação e Meio Ambiente**, Ariquemes – Roraima, v. 5, n. 1, p. 140-149, jan-jun. 2014. Disponível em: <<https://repositorio.faema.edu.br/bitstream/123456789/1753/1/GERON%2C%20Vera%20Lucia.%20O%20USO%20DO%20BIOG%C3%81S%20NO%20%C3%82MBITO%20RURAL%20COMO%20PROPOSTA%20DE%20DESENVOLVIMENTO%20SUSTENT%C3%81VEL.pdf>>. Acessado em: Set. 2022.

BATISTA, F. Z. **Aproveitamento energético do biogás gerado a partir de resíduos de saneamento**. 2016. 92f. Monografia (Bacharel em Engenharia Mecânica) - Instituto Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.ifes.edu.br/bitstream/handle/123456789/918/Aproveitamento%20Energ%C3%A9tico%20do%20Biog%C3%A1s%20gerado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acessado em: Set. 2022.

BIOGÁS E A NOVA LEI DE SANEAMENTO, UMA OPORTUNIDADE PARA O BRASIL? **CIBiogás**. 2020. Disponível em: <<https://cibiogas.org/blog-post/biogas-e-a-nova-lei-de-saneamento-uma-oportunidade-para-o-brasil/#:~:text=Para%20o%20biog%C3%A1s%2C%20o%20Marco,o%20saneamento%20b%C3%A1sico%20no%20Brasil>>. Acessado em: Ago. 2022.

BOECHEM, F. Aprimoramentos na regulação devem impulsionar o uso do biogás e biometano. **EPBR**, São Paulo, 11 de Maio de 2022. Disponível em: <<https://epbr.com.br/aprimoramentos-na-regulacao-devem-impulsionar-o-uso-do-biogas-e-biometano/>>. Acessado em: Set. 2022.

BORSCHIVER, S.; SILVA, A.L.R. da. **Mapeamento tecnológico para purificação de biogás e seu aproveitamento: panorama mundial e iniciativas nacionais**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA–COBEQ, 20, 2014. Proceedings. Florianópolis: Blucher Proceedings, 2015. p. 8757-8765. Disponível em: <<https://doi.org/10.5151/chemeng-cobeq2014-1453-19217-143735>>. Acessado em: Set. 2022.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11445.htm>, Acessado em: Ago. 2022.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acessado em: Jul. 2022.

CANCELLI, T. **Geração de energia a partir do biogás de estações de tratamento de esgoto doméstico**. 2013. 22f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialista em Mudanças Climáticas, Projetos Sustentáveis e Mercado de Carbono) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/50774/R%20-%20E%20-%20THIAGO%20CANCELLI.pdf;jsessionid=B3BF4389099CA5EE22BAF2DBDE2E851C?sequence=1>>. Acessado em: Ago. 2022.

CASSINI, T. S. **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. Rio de Janeiro: ABES, 2003.

CHERNICHARO, C. A. L.; STUETZ, R. M. **Energy Recovery from Biogás in Anaerobic Wastewater Treatment Plants**. 2008. In: CHERNICHARO, C. A. L. Limitações e Possíveis Melhorias Futuras no Projeto, na Construção e na Operação de Reatores UASB Tratamento Esgotos Domésticos. Relatório final de atividades (Pós-Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, 2009.

CHIAPPINI, G. ENTREVISTA Marco do saneamento eleva potencial do biogás em 3 milhões de m³/dia. **EPBR**. 2020. Disponível em: <<https://epbr.com.br/entrevista-marco-do-saneamento-eleva-potencial-do-biogas-em-3-milhoes-de-m%C2%B3-dia/>>. Acessado em: Ago. 2022.

CIBIOGÁS. Panorama do biogás no Brasil 2021. **CIBiogás (Brasil) Relatório Técnico nº 001/2022** – Foz do Iguaçu, 2022. Disponível em: <<https://cibiogas.org/wp-content/uploads/2022/04/NT-PANORAMA-DO-BIOGAS-NO-BRASIL-2021.pdf>>. Acessado em: Jun. 2022.

CORRÊA, C. Setor de transporte é o que causa mais impactos na qualidade do ar. **MMA**, 2018. Disponível em: <<https://www.gov.br/mma/pt-br/noticias/setor-de-transporte-e-o-que-causa-mais-impactos-na-qualidade-do-ar>>. Acessado em: Jul. 2022.

FERRER, J. T. V. (Org.) **Biogás: projetos e pesquisas no Brasil**. São Paulo, 2006. 186 p. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/biogas/wp-content/uploads/sites/3/2006/12/Livro-BIOGAS-1.pdf>>. Acessado em: Jul. 2022.

FGV. **Biogás: inovação e sustentabilidade para o saneamento básico**. nº 33. 2019. Disponível em: <https://fgveurope.fgv.br/sites/fgveurope.fgv.br/files/downloads/FGV_ABR-2019_Biogas-%20MIOLO-FINAL-VDIGITAL.pdf>. Acessado em: Ago. 2022.

FRAGOSO, R. CI Aprova incentivos para geração de energia em aterros sanitários. **Rádio Senado**, São Paulo, 15 de Maio de 2022. Disponível em: <<https://www12.senado.leg.br/radio/1/noticia/2022/05/10/ci-aprova-incentivos-para-geracao-de-energia-em-aterros-sanitarios>>. Acessado em: Set. 2022.

GUIMARÃES, J. R.; NOUR, E. A. A. Tratando nossos esgotos: processos que imitam a natureza. **Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola**. Edição especial, maio de 2001. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/01/esgotos.pdf>>. Acessado em: Set. 2022.

KAPDI, S. S. *et al.* Biogas scrubbing, compression and storage: perspective and prospectus in Indian context. **Renewable Energy**, New Delhi - Índia, n. 30, p. 1195-1202, jul. 2005. Disponível em: <<http://doi.org/10.1016/j.renene.2004.09.012>>. Acessado em: Out. 2022.

MARIANI, L. **Biogás: diagnóstico e propostas de ações para incentivar seu uso no Brasil**. 2018. 144f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018. Disponível em: <https://www.saneamentobasico.com.br/wp-content/uploads/2020/05/Mariani_Leidiane_D.pdf>. Acessado em: Out. 2022.

MARTINS, R. D. **Potencial energético e produção de biometano a partir de resíduos sólidos urbanos e resíduos vitivinícola na cidade de Bento Gonçalves e região**. 2018. 68f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/esa/files/2018/09/TCC-MARTINS2c-Rafaela-Dorigon.pdf>>. Acessado em: Set. 2022.

MATRIZ Energética e Elétrica. **EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA**, 2022. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acessado em: Ago. 2022.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Levantamento do potencial de geração de energia elétrica a partir do aproveitamento de dejetos animais no Brasil. Brasília: 2008.

MONTAGNA, T. B. **Biogás produzido em aterro sanitário como fonte de energia – uma revisão bibliográfica**. 2013. 53f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) - União de Ensino do Sudoeste do Paraná, Dois Vizinhos, 2013. Disponível em: <<https://semanaacademica.org.br/monografia/biogas-produzido-em-aterro-sanitario-como-fonte-de-energia-uma-revisao-bibliografica>>. Acesso em: Set. 2022.

PERSSON, M.; JÖNSSON, O.; WELLINGER, A. **Biogas upgrading to vehicle fuel standards and grid injection**. IEA Bioenergy, Task 37 – Energy from Biogas and Landfill Gas. 2006. Disponível em: <https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2007/12/upgrading_report_final.pdf>. Acessado em: Jul. 2022.

PRATI, L. **Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores**. Monografia (Bel. em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

PROBIOGÁS. **Exemplos de usinas de aproveitamento de biogás no Brasil**. Ministério das Cidades. 2017a. Disponível em: <<https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/FolhetoprojetosdereferenciaPROBIOGAS.pdf>>. Acessado em: Ago. 2022.

PROBIOGÁS. **Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto**. Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2017b.

PROBLEMAS CAUSADOS PELO DESPEJO DE ESGOTO SEM TRATAMENTO NOS RIOS. **BRK Ambiental**, 2020. Disponível em: <<https://blog.brkambiental.com.br/problemas-causados-pelo-esgoto/>>. Acessado em: Jul. 2022.

REIS, L. Biogás nas indústrias brasileiras: como a fonte pode impulsionar o setor? **CIBiogás**, 2021. Disponível em: <<https://cibiogas.org/blog-post/biogas-nas-industrias-brasileiras-como-a-fonte-pode-impulsionar-o-setor/>>. Acessado em: Jun. 2022.

RESÍDUOS DOS SERVIÇOS DE SANEAMENTO BÁSICO. **SINIR**, 2022a. Disponível em: <<https://sinir.gov.br/informacoes/tipos-de-residuos/residuos-dos-servicos-de-saneamento-basico/>>. Acesso em Jul. 2022.

RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS. **SINIR**, 2022b. Disponível em: <<https://sinir.gov.br/informacoes/tipos-de-residuos/residuos-solidos-urbanos/>>. Acesso em Jul. 2022.

RUIZ, E. **Novo Gramacho Landfill Gas Biomethane Purification Project in Brazil**. Trabalho apresentado em Methane Expo 2013, Vancouver, 12-15 mar. 2013.

SINIR. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto**. Visão Geral ano de referência 2020. Brasília, 2021. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/338580569_Guia_tecnico_de_aproveitamento_energetico_de_biogas_em_estacoes_de_tratamento_de_esgoto>. Acessado em: Set, 2022.

SINIR. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto**. Visão Geral ano de referência 2020. Brasília, 2021.

_____. Resíduos dos Serviços de Saneamento Básico. **SINIR**, 2022a. Disponível em: <<https://sinir.gov.br/informacoes/tipos-de-residuos/residuos-dos-servicos-de-saneamento-basico/>>. Acesso em 27 jul. de 2022.

_____. **Resíduos Sólidos Urbanos**. **SINIR**, 2022b. Disponível em: <<https://sinir.gov.br/informacoes/tipos-de-residuos/residuos-solidos-urbanos/>>. Acesso em 27 jul. de 2022.

SOARES, R. C.; SILVA, S. R. C. M. da. Evolução Histórica do Uso de Biogás como Combustível. *In*: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO. 05, 2010, Cuiabá – MT. **Anais...** Cuiabá – MT: CONNEPI, 2010.

SOARES, R. C.; SILVA, S. R. C. M. da. **Evolução Histórica do Uso de Biogás como Combustível.** *In*: CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO. 05, 2010, Cuiabá – MT. **Anais.** Cuiabá: CONNEPI, 2010. Disponível em: <<http://www.congressos.ifal.edu.br/index.php/connepi/CONNEPI2010/paper/viewFile/843/570>>. Acessado em: Ago. 2022.

TRATAMENTO de esgoto para geração de energia. **INCT ETes Sustentáveis**, 2020. Disponível em: <<https://etes-sustentaveis.org/geracao-energia-tratamento-esgoto/>>. Acessado em: Jul. 2022.

VILLELA, I. A. C.; SILVEIRA, J. L. Aspectos Técnicos da Produção de Biogás em um Laticínio. **Revista Janus**, Guaratinguetá – São Paulo, v. 2, n. 2, p. 99-107, ago. 2005. Disponível em: <<http://unifatea.com.br/seer3/index.php/Janus/article/view/117>>. Acessado em: Out. 2022.

VILLELA, I. A. C.; SILVEIRA, J. L. Aspectos Técnicos da Produção de Biogás em um Laticínio. **Revista Janus**, v. 2, n. 2, p. 99-107, 2005.

ZANETTE, L. A. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no O.** 2009. 105f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://antigo.ppe.ufrj.br/ppes/production/tesis/zanette_luiz.pdf>. Acessado em: Set. 2022.

ZANETTE, L. A. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil.** 2009. 105f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

CAPÍTULO 14

INFLUÊNCIA DA SECAGEM DOS RESÍDUOS DE GRAMA NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS COM A APLICAÇÃO DO PRÉ-TRATAMENTO ALCALINO

Jhenifer Aline Bastos
João Henrique Lima Alino
Paula Verônica Remor
Thiago Edwiges

RESUMO

A estrutura recalcitrante dos resíduos lignocelulósicos impede o acesso de microrganismos responsáveis pela conversão da fração biodegradável em biogás quando a componente lignina não é removida. O uso do pré-tratamento alcalino solubiliza parcialmente a lignina e a hemicelulose disponibilizando a fração de celulose para o meio reacional da digestão anaeróbia. Contudo, o preparo do resíduo antes do pré-tratamento pode ser realizado para que a amostra seja homogênea e representativa, evitando possíveis erros nos ensaios de produção de biogás e metano. Portanto, o objetivo do trabalho foi avaliar a influência do preparo da amostra de resíduos de grama na produção de biogás quando previamente secos antes da aplicação do pré-tratamento alcalino. Os resíduos de grama (RDG) foram coletados na área verde de uma instituição de ensino, sendo removido pedaços de galhos e folhas secas. Parte da amostra foi seca à 50°C durante 24 horas (RGS) e outra parte foi mantida à temperatura ambiente (25°C) pelo mesmo período (RGI). A aplicação do pré-tratamento químico foi realizada com ambas amostras (RGSP e RGIP) usando uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) à 5%. O período de contato das amostras com a solução alcalina foi de 12 horas em temperatura ambiente (25°C). Após o pré-tratamento, as amostras foram lavadas até que o pH do líquido residual fosse neutro e a fração sólida foi seca a 50°C durante 24 horas. A determinação da produção de biogás e metano foi realizada seguindo as diretrizes da VDI 4630 (2006) com frascos de penicilina de 100 mL e a padronização do volume de biogás foi realizada com base na temperatura e pressão ambiente. A maior produção de biogás foi observada para os resíduos pré-tratados com solução alcalina, sendo obtido $536 \pm 8,7 \text{ L}_N \text{ kg SV}^{-1}$ para RGIP e $531 \pm 2,5 \text{ L}_N \text{ kg SV}^{-1}$ para RGSP. O teor de metano foi próximo de 57% para ambas amostras e o valor médio do potencial bioquímico de metano (PBM) foi de $307 \pm 5,0 \text{ L}_N \text{ CH}_4 \text{ kg SV}^{-1}$. Tais resultados indicaram que a secagem dos resíduos antes do pré-tratamento não influenciou no volume final de biogás quando utilizado a solução alcalina e a maior produção de biogás e metano foram obtidas apenas para os resíduos pré-tratados com solução alcalina. Portanto, o processo secagem dos resíduos de grama antes da aplicação do pré-tratamento pode ser descartado visto que a temperatura não surtiu efeito significativo na produção de metano.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás. Pré-tratamento Alcalino. Resíduos de Grama. Metano.

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos de grama e jardim destacam-se como uma matéria-prima atraente para a produção de biogás por ser abundante e renovável. São compostos principalmente por folhas, galhos, detritos lignocelulósicos de aparas de grama e estão presentes em grande quantidade nas áreas verdes de centros urbanos (GUPTA *et al.*, 2012). A conversão desses resíduos em energia pode reduzir os custos com o descarte e mitigar a crise de energia no mundo (YU *et al.*, 2019). Neste sentido, a digestão anaeróbia é considerada como um processo alternativo e sustentável para a produção de energia e biocombustíveis por gerar produtos com alto valor agregado, como biogás e o digestato (ASSIS; GONÇALVES, 2022). O biogás é uma mistura de gases contendo em grande quantidade o metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) que pode

ser convertido em eletricidade e calor (KUNZ *et al.*, 2019). Contudo, a produção de biogás com biomassa lignocelulósica pode ser limitada devido à estrutura complexa composta de celulose, hemicelulose e lignina, visto que este último componente é insolúvel em água e responsável pela estrutura e rigidez do vegetal (SHEN *et al.*, 2014).

Como alternativa para aumentar a eficiência da produção de biogás são aplicados pré-tratamentos para melhorar a hidrólise enzimática com a redução da cristalinidade, nível de polimerização da celulose e o teor de lignina, tornando a hemicelulose mais acessível aos microrganismos (YU *et al.*, 2019). Os pré-tratamentos podem ser mecânicos, térmicos, químicos, biológicos e/ou a combinação entre eles, e tem como finalidade a dissociação da estrutura lignocelulósica em celulose, hemicelulose e lignina (LIU *et al.*, 2022). A escolha do pré-tratamento é fundamental para garantir a eficácia do processo de dissociação do açúcar presente na biomassa lignocelulósica, visto que um pré-tratamento eficiente resulta em menor formação de inibidores, preservação da celulose e hemicelulose e menor consumo de tempo e energia (MALIK *et al.*, 2022).

O pré-tratamento químico alcalino tem sido comumente aplicado em resíduos de grama para aumentar a produção de biogás devido a eficiência na solubilização da lignina e liberação da celulose (MALIK *et al.*, 2021). A reação de saponificação que ocorre com o rompimento das paredes celulares da biomassa lignocelulósica libera a matéria orgânica solúvel para o meio e aumentando a biodegradabilidade do resíduo (ZHENG *et al.*, 2021; LIU *et al.*, 2015). No estudo realizado por Bastos *et al.* (2021) observou-se o aumento de 42% na produção de biogás com resíduos de grama pré-tratados com solução de hidróxido de sódio à 5% e rendimento de metano de 323 L_N CH₄ kg SV⁻¹ quando comparado ao resíduo não pré-tratado.

Para ambos estudos com pré-tratamento alcalino, a secagem dos resíduos pré-tratados é uma etapa importante para remover a umidade da amostra e reduzir erros nos ensaios de produção de biogás. O processo de secagem é realizado em estufa com recirculação de ar à 60°C com intervalo de tempo entre 12 e 24 horas (BASTOS *et al.*, 2021; REMOR *et al.*, 2022; ALINO *et al.*, 2022). Contudo, este processo de secagem pode ser aplicado quando a perda de matéria orgânica volátil é ignorada ou tratada através de análises detalhadas de compostos voláteis (KREUGER *et al.*, 2011).

Para os ensaios de potencial bioquímico de biogás e metano, a perda da matéria orgânica volátil contida na amostra pode ser um problema devido a subestimação do resultado obtido ao final do ensaio. Em contrapartida, a presença de água pode resultar em erros no balanço de

massa dos ensaios e superestimar os valores de produção e biogás. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência da secagem das amostras de resíduos de grama na produção de biogás e metano quando pré-tratadas com solução alcalina de hidróxido de sódio (NaOH) à 5%.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Caracterização do inóculo e substrato

O inóculo foi composto por uma mistura de dejetos bruto bovino e digestato de biodigestores que tratam resíduos da suinocultura e bovinocultura, na proporção de 2:1:1 (v/v), respectivamente. O inóculo foi mantido em reator anaeróbio com temperatura mesofílica (37°C) e aclimatado com uma carga orgânica de 0,5 g SV. L d⁻¹ contendo carboidratos, proteínas e lipídeos. Antes dos ensaios de potencial de produção de biogás e metano, o inóculo permaneceu por sete dias em sistema mesofílico sem o recebimento da carga orgânica de alimentação (EDWIGES *et al.*, 2018).

Os resíduos de grama foram coletados na área verde da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Medianeira, sendo removido materiais grosseiros como pedaços de galhos, folhas secas e materiais inertes. Para garantir a homogeneidade da amostra, os resíduos foram triturados em moinho de facas com peneira fina até obter diâmetro de partícula menor que 10 mm (Figura 1). A caracterização do inóculo e substrato foi realizada para obter o teor de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), conforme descrito em APHA (2006).

Figura 1: Amostra de resíduos de grama coletada na área verde da instituição (a) e amostra após a separação dos materiais grosseiros e redução de partícula (b).



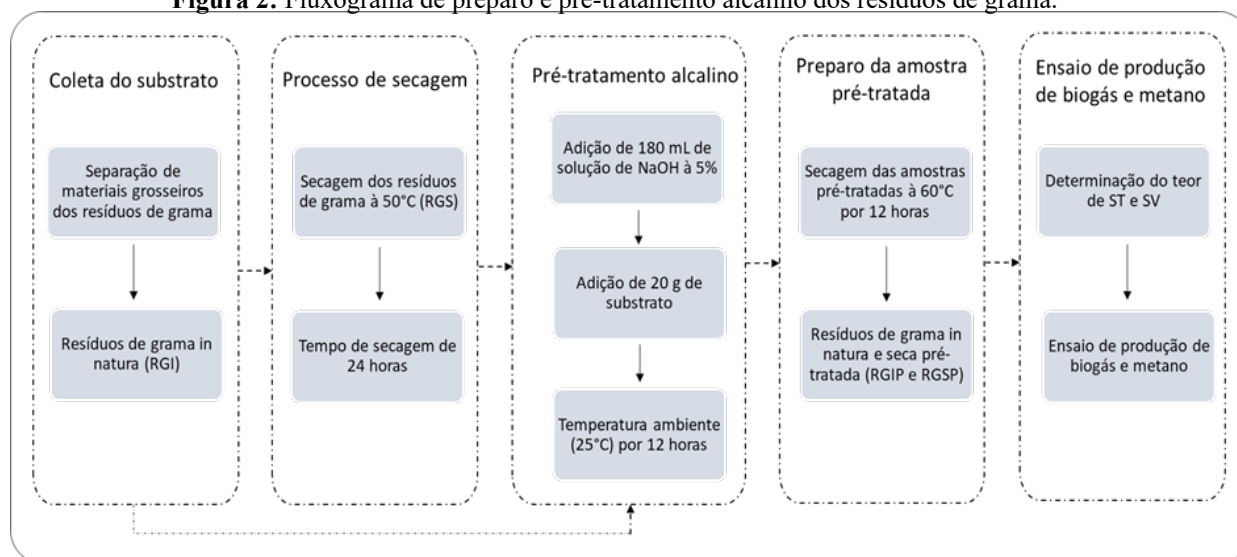
Fonte: Autoria Própria (2022).

2.2. Secagem e pré-tratamento do substrato

Para comparar o efeito do processo de secagem da amostra dos resíduos de grama, uma parte da amostra foi seca em estufa com recirculação de ar à 50°C por 24 horas (RGS) e outra parte foi mantida em temperatura ambiente (25°C) pelo mesmo período (RGI). O pré-tratamento alcalino foi realizado com 180 mL de solução de hidróxido de sódio (NaOH) à 5% e 20g de resíduo de grama seco (RGS) e in natura (RGI) preparados separadamente. Essa proporção de solução alcalina e substrato foi calculada para obter uma mistura contendo até 10% de ST (LIU *et al.*, 2015).

As misturas foram mantidas em frascos fechados com tempo de contato da solução e substrato de 12 horas em temperatura ambiente (25°C). Após esse processo, foi feita a separação da fração sólida e líquida com uma peneira de abertura média (mesh = 5 mm), sendo descartado a fração líquida e lavada a fração sólida em água corrente até que o pH do efluente de lavagem fosse neutro. Para garantir a homogeneidade e reduzir possíveis erros pelo excesso de umidade, as amostras pré-tratadas foram secas em estufa com recirculação de ar à 60°C por 12 horas e o armazenamento foi feito em sacos plásticos vedados até o momento dos ensaios de produção de biogás e metano. A caracterização foi realizada para obter o teor de ST e SV, conforme APHA (2005) (Figura 2).

Figura 2: Fluxograma de preparo e pré-tratamento alcalino dos resíduos de grama.



Fonte: Autoria própria (2022).

2.3. Ensaio de potencial bioquímico de metano (PBM)

A determinação do Potencial Bioquímico de Metano (PBM) das amostras in natura, secas e pré-tratadas foi realizada de acordo com as diretrizes propostas pela VDI 4630 (2006) utilizando 18 frascos de vidro com capacidade de armazenamento de 100 mL. A massa de inóculo e substrato adicionado no reator foi calculada com base na análise de sólidos sendo

fixado o valor da razão inóculo para substrato (RIS) igual a 3 (HOLLIGER *et al.*, 2016). A medição do volume de biogás gerado diariamente ocorreu com o deslocamento do embolo de uma seringa de vidro capacidade de armazenamento de 100 mL e a equalização da pressão externa com a pressão interna dos frascos (BASTOS *et al.*, 2021). O monitoramento da produção de biogás foi interrompido quando o volume medido foi inferior a 1% do volume acumulado (VDI 4630, 2006).

A composição do biogás foi determinada por meio de cromatografia gasosa (ASTM D1945-14, 2014) em cromatógrafo (Perkin Elmer - Clarus 680) com Detector de Condutividade Térmica (TCD). O volume de biogás e metano foi normalizado conforme a Equação 1, levando em consideração a temperatura de incubação (37°C), valor médio da pressão atmosférica medido durante o ensaio e a pressão de vapor d'água.

$$V_0 = V \cdot \frac{(P_L - P_{V\acute{a}gua}) T_0}{P_0 \cdot T} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde,

V_0 = volume de biogás padronizado (L_N);

V = volume de biogás medido (L);

P_L = valor médio da pressão atmosférica medido durante o ensaio (mbar);

$P_{V\acute{a}gua}$ = pressão de vapor da água (mbar);

T_0 = valor de temperatura para padronização (273,15 K);

P_0 = valor da pressão para padronização (1.103 mbar) e;

T = temperatura de incubação (K);

A pressão de vapor d'água foi calculada usando como base a temperatura da água de aquecimento dos frascos de PBM (37°C) (Equação 2).

$$P_{V\acute{a}gua} = 10^{8.1962 - \frac{1730.63}{T - 39.724}} \quad (\text{Equação 2})$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Caracterização do inóculo e substrato

O teor de sólidos totais foi maior para os RGS (94,2±0,1%), seguido dos RGSP (92,1±0,0), RGIP (91,9±0,0%) e RGI (49,5±0,1%) (Tabela 1). Tal resultado pode ser explicado pelo processo de secagem das amostras que foi realizado antes para o RGS e após o pré-

tratamento alcalino para amostras de RGSP e RGIP, o que removeu parte da água presente nos RGI. Já o teor de ST do inóculo foi de $2,4\pm 0,0\%$ sendo próximo dos valores encontrados por outros estudos que fizeram o preparo do inóculo semelhante ao método do presente estudo (BASTOS *et al.*, 2021; ALINO *et al.*, 2022).

Tabela 1: Teor de sólidos totais e voláteis do inóculo e substrato.

Amostra	ST (%)	SV (%bu)	ST/SV (%)
Inóculo	$2,4\pm 0,0$	$1,7\pm 0,0$	$68,2\pm 0,2$
RGI	$49,5\pm 0,1$	$43,7\pm 0,1$	$88,5\pm 0,0$
RGS	$94,2\pm 0,1$	$84,3\pm 0,2$	$89,4\pm 0,0$
RGIP	$91,9\pm 0,0$	$87,4\pm 0,1$	$95,1\pm 0,0$
RGSP	$92,1\pm 0,0$	$87,5\pm 0,0$	$95,0\pm 0,0$

Fonte: Autoria própria (2022).

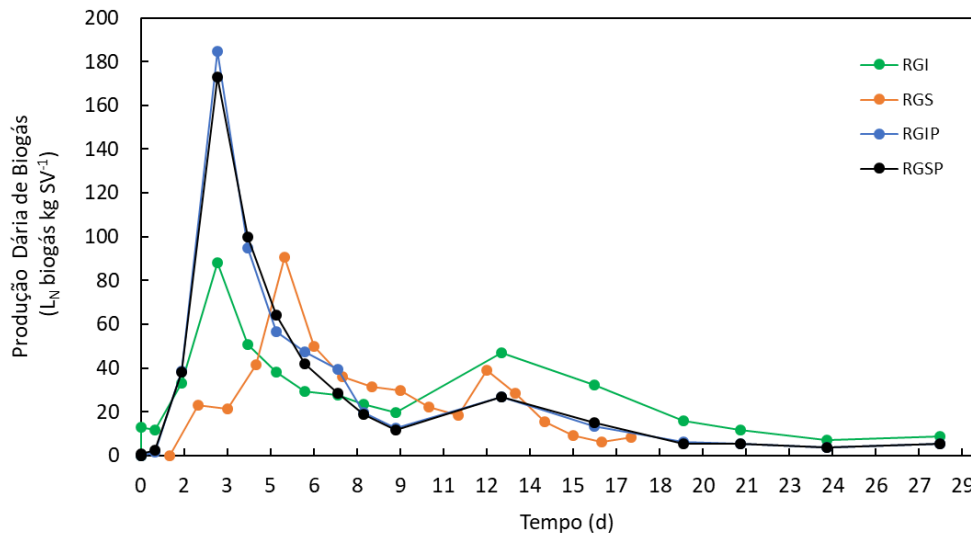
Legenda: ST: sólidos totais; SV: sólidos voláteis; RGI: resíduos de grama in natura; RGS: resíduos de grama seco; RGIP: resíduos de grama in natura pré-tratado e RGSP: resíduos de grama seco pré-tratado.

Em relação à concentração de sólidos voláteis, os RGSP e RGIP apresentaram valores semelhantes ($87,5\pm 0,0\%$ e $87,4\pm 0,1\%$, respectivamente), sendo ambos superiores ao RGW ($43,7\pm 0,1\%$). O mesmo ocorreu com a relação ST/SV em que os substratos RGSP e RGIP foram iguais, $95,0\pm 0,0\%$ e $95,1\pm 0,1\%$, respectivamente, e maiores que o RGW ($88,5\pm 0,0\%$) e DGW ($89,4\pm 0,0\%$) (Tabela 2). De acordo com Zheng *et al.* (2014) a alta razão indica uma hidrólise mais rápida no processo de digestão anaeróbia e indica que o substrato tem potencial para ser convertido em biogás ($SV > 50\%$).

3.2. Produção de biogás e metano

As curvas da produção diária de biogás apresentaram comportamento semelhante ao longo do ensaio, com exceção do RGS que apresentou atraso de cinco dias para obter o maior pico de produção de biogás ($91 \text{ L}_N \text{ kg SV}^{-1}$) (Gráfico 1). Em contrapartida, os RGI, RGIP e RGSP apresentaram o maior pico de produção de biogás no terceiro dia de ensaio, sendo o maior volume de biogás obtido para os resíduos pré-tratados com solução alcalina (185 e $173 \text{ L}_N \text{ kg SV}^{-1}$ para RGIP e RGSP). Tais resultados indicam a influência do pré-tratamento alcalino na remoção de compostos inibitórios (por exemplo, lignina) proporcionando maior área superficial dos carboidratos facilmente biodegradáveis (celulose e hemicelulose) para os microrganismos (ZHENG *et al.*, 2014).

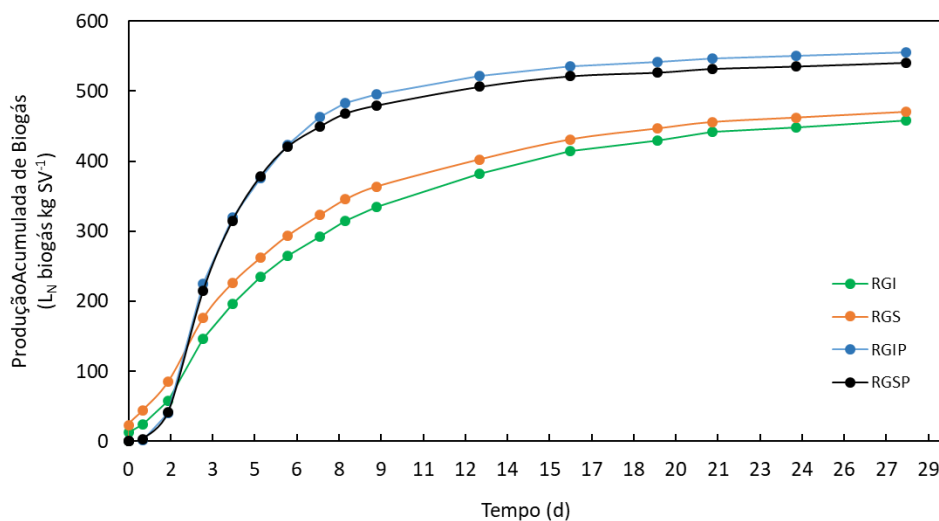
Gráfico 1: Produção diária de biogás dos resíduos de grama in natura (RGI) e pré-tradados com solução alcalina (RGIP) e dos resíduos de grama secos (RGS) e pré-tradados com solução alcalina (RGSP).



Fonte: Autoria própria (2022).

Para a produção acumulada de biogás também foi observada a influência do pré-tratamento alcalino na liberação de componentes facilmente biodegradáveis (Gráfico 2). Os maiores valores foram obtidos para os resíduos pré-tratados com $536 \pm 8,7 \text{ LN kg SV}^{-1}$ para RGIP e $531 \pm 2,5 \text{ LN kg SV}^{-1}$. No entanto, ao avaliar a influência do processo de secagem dos resíduos antes da aplicação do pré-tratamento foi observado semelhança nos valores de produção de biogás, o que descarta o uso da temperatura para minimizar a heterogeneidade dos resultados. Da mesma forma foi observado para a produção de biogás acumulada das amostras sem pré-tratamento alcalino mostrando que a diferença entre os valores obtidos pelos RGI ($454 \pm 4,1 \text{ LN kg SV}^{-1}$) e RGS ($480 \pm 5,9 \text{ LN kg SV}^{-1}$) foi de apenas 5,9%.

Gráfico 2: Produção acumulada de biogás dos resíduos de grama in natura (RGI) e pré-tradados com solução alcalina (RGIP) e dos resíduos de grama secos (RGS) e pré-tradados com solução alcalina (RGSP).



Fonte: Autoria própria (2022).

Ao avaliar o teor de metano dos resíduos observou-se que os valores foram próximos à 57% e esteve dentro da faixa encontrada na literatura para produção de biogás com resíduos lignocelulósicos (teor de CH₄ > 50%) (BASTOS *et al.*, 2021; LIU *et al.*, 2015). A produção acumulada de metano variou entre 258 e 307 L_N CH₄ kg SV⁻¹ sendo observado acréscimo de até 15% na produção de metano quando o resíduo de grama in natura ou seco é submetido ao pré-tratamento alcalino (Tabela 2). Segundo YU *et al.* (2019), os pré-tratamentos melhoraram a hidrólise enzimática na digestão anaeróbia, reduzindo a cristalinidade e o nível de polimerização da celulose quando a lignina é solubilizada, o que deixa a hemicelulose e celulose mais acessível aos microrganismos.

Tabela 2: Produção de biogás e metano do substrato seco e pré-tratado.

Amostra	PBB	Teor de CH ₄	PBM
	(L _N biogás kg SV ⁻¹)	(%)	(L _N CH ₄ kg SV ⁻¹)
RGI	454±4,1	56,8±0,1	258±2,3
RGS	480±5,9	56,9±0,0	273±3,4
RGIP	536±8,7	57,2±0,2	307±5,0
RGSP	531±2,5	57,0±0,1	303±1,4

RGI: resíduo de grama in natura; RGS: resíduo de grama seco; RGIP: resíduo de grama in natura pré-tratado; RGSP: resíduo de grama seco pré-tratado; PBB: potencial bioquímico de biogás; PBM: potencial bioquímico de metano; CH₄: metano; L_N: litro normalizado; kg: quilograma e SV: sólidos voláteis.

Fonte: Autoria própria (2022).

Contudo, o processo de secagem na produção de metano após o pré-tratamento alcalino não causa diferença significativa entre os valores obtidos no estudo, visto que o desvio padrão calculado igualam os valores de produção de metano dos RGIP (307±5,0 L_N CH₄ kg SV⁻¹) e RGSP (303±1,4 L_N CH₄ kg SV⁻¹). Valor próximo foi obtido por Panigrahi *et al.* (2020) ao aplicar um pré-tratamento hidrotérmico em resíduos de jardinagem (335 L_N CH₄ kg SV⁻¹). Os autores afirmam que a aplicação do pré-tratamento acelerou a etapa de hidrólise e acidogênese gerando ácidos graxos voláteis que são convertidos em metano pelos microrganismos metanogênicos. Portanto, o aumento da produção de metano observada no presente estudo está fortemente relacionada a ação do pré-tratamento alcalino do que o processo de secagem da amostra antes do pré-tratamento.

4. CONCLUSÃO

A secagem das amostras de resíduos de jardim não influenciou na homogeneização e na redução de erros no experimento quando submetidos aos ensaios de potencial de produção de biogás e metano. Os resultados mostraram uma diferença de 3% entre os valores de PBM para substratos pré-tratados e não pré-tratados, indicando que a secagem dos resíduos não interferiu significativamente na produção de metano e na eficiência do pré-tratamento. Assim, os maiores valores de PBM só foram obtidos pela aplicação de um pré-tratamento químico alcalino que

proporcionou a liberação de compostos biodegradáveis (celulose e hemicelulose) pela quebra da lignina.

REFERÊNCIAS

ALINO, J. H. L. *et al.* Alkaline pretreatment and pre-hydrolysis using acidic biowastes to increase methane production from sugarcane bagasse. **Methane**, v. 1, Ago. 2022. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2674-0389/1/3/15>>. Acessado em: Set, 2022.

ASSIS, T.; GONÇALVES, R. F. Valorization of food waste by anaerobic digestion: A bibliometric and systematic review focusing on optimization. **Journal of Environmental Management**, v. 320, Out. 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479722013366>>. Acessado em: Set, 2022.

APHA - American Public Health Association. (2005). **Standart methods for the examination of water and wastewater**. Whashington – DC: *American Water Works Association*, 2005.

BASTOS, J. A. *et al.* Hydrolysate recycling improves economic feasibility of alkaline pretreatment for bioenergy production. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 9, Out. 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221334372100912X>>. Acessado em Set, 2022.

EDWIGES, T. *et al.* Influence of chemical composition on biochemical methane potential of fruit and vegetable waste. **Waste Management**, v.18, Jan. 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X17303574>>. Acessado em: Set, 2022.

HOLLIGER, C. *et al.* Towards a standardization of biomethane potential tests. **Water Science e Technology**, v. 11, Dez. 2016. Disponível em: <<https://iwaponline.com/wst/article/74/11/2515/18930/Towards-a-standardization-of-biomethane-potential>>. Acessado em: Set, 2022.

GUPTA, P. *et al.* Study on biogas production by anaerobic digestion of garden-waste. **Fuel**, v. 95, Mai. 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236111006971>>. Acessado em: Set, 2022.

KREUGER, E.; NGES, I.A.; BJORNSSON, L. Ensiling of crops for biogas production: effects on methane yield and total solids determination. **Biotechnology for Biofuels**, V.4, Out. 2011. Disponível em: <<https://biotechnologyforbiofuels.biomedcentral.com/articles/10.1186/1754-6834-4-44>>. Acessado em: Set, 2022.

KUNZ, A.; STEIMNETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Concórdia – SC: Sbera: Embrapa

Suíños e Aves, 2019. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1108617>>. Acessado em: Set, 2022.

LIU, X. *et al.* Improving the bioenergy production from wheat straw with alkaline pretreatment. **Biosystems Engineering**, v. 140, Dez. 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511015001579>>. Acessado em: Set, 2022.

LIU, B. *et al.* Application and prospect of organic acid pretreatment in lignocellulosic biomass separation: A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 222, Dez. 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813022022103>>. Acessado em: Set, 2022.

MALIK, K. *et al.* Lignocellulosic biomass for bioethanol: Insight into the advanced pretreatment and fermentation approaches. **Industrial Crops and Products**, v. 188, Nov. 2022. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669022010524>>. Acessado em: Set, 2022.

PANIGRAHI, S.; SHARMA, H. B.; DUBEY, B. K. Anaerobic co-digestion of food waste with pretreated yard waste: A comparative study of methane production, kinetic modeling and energy balance. **Journal of Cleaner Production**, v. 243, Jan. 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619333505>>. Acessado em: Set, 2022.

REMOR, P. V. *et al.* Optimization of chemical solution concentration and exposure time in the alkaline pretreatment applied to sugarcane bagasse for methane production. **Environmental Technology**, v. 1, Fev. 2022. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09593330.2022.2046645>>. Acessado em: Set, 2022.

SHEN, S. *et al.* Pre-treatments for enhanced biochemical methane potential of bamboo waste. **Chemical Engineering Journal**, v. 240, Mar. 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894713015520>>. Acessado em: Set, 2022.

VDI - VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. VDI 4630. **Fermentation of organic materials Characterisation of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests**. Düsseldorf, 2006. Disponível em: <<https://www.vdi.de/richtlinien/details/vdi-4630-fermentation-of-organic-materials-characterization-of-the-substrate-sampling-collection-of-material-data-fermentation-tests>>. Acessado em: Set, 2022.

YU, Q. *et al.* A review of crop straw pretreatment methods for biogas production by anaerobic digestion in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 107, Jun. 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119301133>. Acessado em: Set, 2022.

ZHENG, Y. *et al.* Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 2, Jun. 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128514000021>>. Acessado em: Set, 2022.

ZHENG, T. *et al.* Effects of low- and high-temperature thermal-alkaline pretreatments on anaerobic digestion of waste activated sludge. **Bioresource Technology**, v. 337, Out. 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852421007409>>. Acessado em: Set, 2022.

CAPÍTULO 15

APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS NA PRODUÇÃO DE CATALISADORES HETEROGÊNEOS BÁSICOS

Taís Lima Sousa
Mariana Moreira Sidel Maia
José Sebastião Cidreira Vieira
Lina Maria Grajales Agudelo
Germildo Juvenal Muchave
Makson Rangel de Melo Rodrigues
Hugo da Costa Reis
Vandenilso Macêdo Cesário

RESUMO

Matérias-primas oriundas de resíduos agroindustriais como quartzo, um rejeito da extração mineral de cobre, contendo elevado teor de SiO_2 serviu de suporte para a incorporação do pó das conchas de sururu, rico em CaO para a obtenção catalisadores heterogêneos básicos. As matérias-primas foram trituradas abaixo de 0,12 mm e submetidas a tratamento térmico a 850°C . Os catalisadores foram sintetizados pelo método de impregnação úmida, cuja matriz foi a sílica (Qtz) e o dopante foi o cálcio (Mc) em diferentes quantidades. A caracterização físico-química revelou que de fato ocorreu a impregnação do CaO (Mc) na matriz mesoporosa (Qtz) dos referidos materiais. O caráter básico e a presença de sítios ativos na sua superfície os caracterizaram como um material catalítico com elevado potencial para converter óleos vegetais em biodiesel através do processo de transesterificação heterogênea básica.

PALAVRAS-CHAVE: Sílica Óxido de cálcio. Catálise heterogênea.

1. INTRODUÇÃO

Na atualidade, com o advindo do crescimento demográfico automaticamente a demanda por alimentos, transportes, energia e a questão ambiental passaram a ser fatores de preocupação governamental (RODRIGUES, 2008).

No setor energético é grande a luta pela produtividade e competitividade de energia limpa e renovável, uma vez que ao contrário do que se esperava o petróleo é uma fonte esgotável de energia. Seus derivados liberam grandes quantidades de poluentes para a atmosfera e são responsáveis pelo surgimento de gee (gases do efeito estufa). Os combustíveis oriundos de fontes renováveis atraíram a atenção do mundo científico com a descoberta que as fontes de energia fósseis são limitadas e possuem um alto poder de degradação ambiental (AMANI; AHMAD; HAMEED, 2014).

Um biocombustível ambientalmente correto capaz de diminuir a dependência dos derivados de petróleo é o biodiesel, produzido pela transesterificação de óleos vegetais e gorduras animais. O método mais utilizado na atualidade para obtenção de biodiesel é através

da reação de transesterificação, na qual óleos vegetais e/ou gorduras animais reagem com um álcool de cadeia curta na presença de uma base forte (catalisador) para gerar ésteres de ácidos graxos (biodiesel) e glicerina como coproduto (VIEIRA, 2017).

Os catalisadores homogêneos básicos apresentam elevada atividade convertendo a matéria-prima graxa em uma taxa $\geq 98\%$ de biodiesel, porém, dificultam a separação da mistura entre produto e coproduto, exige matéria-prima refinada com baixo teor de ácidos graxos livres ($\leq 0,5$), isenção de água ou no máximo $0,25\% \text{ H}_2\text{O}$, que elevam o custo final do processo tornando o biodiesel menos competitivo em relação ao diesel fóssil.

Uma alternativa interessante para redimir as desvantagens da transesterificação homogênea básica é a aplicação da catálise heterogênea, uma vez que os catalisadores sólidos podem ser regenerados após a transesterificação, são fáceis de separação. Os catalisadores heterogêneos podem assumir caráter ácido, básico ou bifuncional (ácido e básico simultaneamente). A transesterificação heterogênea ácida apresenta longo tempo reacional e exige elevadas temperaturas na obtenção de biodiesel. Diferentemente, a reação de transesterificação heterogênea básica é mais vantajosa e atraente na produção de biocombustível ambientalmente sustentável.

Entre as bases heterogênea de interesse para a produção de biodiesel, o CaO (óxido de cálcio) tem atraído o interesse do setor energético renovável não somente pela sua elevada reatividade química, mais também pelo baixo custo durante o processo de síntese. Além disso, existem diversas fontes abundantes e renováveis que podem ser empregados com matriz e como dopantes dos catalisadores heterogêneos básicos.

No setor alimentício são geradas elevadas quantidades de resíduos agroindustriais, que em geral são lançados a céu aberto, acarretando degradação ambiental e prejuízos à saúde pública, principalmente quando os resíduos agrícolas são depositados em áreas urbanas (CORDEIRO; HENRIQUES; SOUZA, 2007).

A reciclagem de resíduos agrícolas é uma necessidade cada vez maior a nível mundial. O uso de biomassa na geração de energia renovável é um ponto interessante. O aproveitamento destes resíduos para a cogeração de biocombustíveis é altamente viável à luz da economia, da inovação tecnológica e da sustentabilidade ambiental, uma vez que a obtenção de energia renovável pode contribuir para se redimir a dependência dos combustíveis fósseis e preservar o meio ambiente (RODRIGUES, 2008; RAMOS, 2014).

O quartzo proveniente da exploração mineral de cobre e a concha de sururu (*Mytella charruana*) oriundo das atividades de milicultura são resíduos agroindustriais de elevado volume e baixa densidade. Com o surgimento da necessidade de aproveitamento destes

resíduos, uma variedade de materiais tem sido estudada visando-se a empregabilidade dos mesmos em vários setores do conhecimento. Dentre as reais possibilidades de empregabilidade destacam-se a síntese de catalisadores heterogêneos para a conversão de óleos vegetais em biodiesel.

A utilização de resíduos agrícolas e industriais para a obtenção de novos produtos é uma tendência mundial. O presente trabalho, teve por objetivo aproveitar resíduos de conchas de sururu (*Mytella charruana*), e resíduos da mineração (quartzo) de cobre para a geração de energia limpa em face da necessidade de empregar-se matérias-primas de baixo custo para obtenção de biodiesel, da necessidade de empregar-se matérias-primas oleaginosas de baixo valor agregado, da utilização da catálise heterogênea básica para produção de biodiesel tornando-o mais competitivo em relação aos derivados do petróleo.

2. METODOLOGIA

2.1. Materiais

As principais matérias-primas utilizadas neste trabalho foram, o quartzo, resíduo da mineração de cobre, oriundos do Complexo Mineralógico do Salobo (PA). Este material é rico em sílica (SiO_2) e serviu de suporte dos catalisadores heterogêneos. As conchas de sururu (*Mytella charruana*), (ricas em CaO forneçam o material dopante dos catalisadores) foram coletadas em feiras livres e mercados de São Luís-MA. A Figura 1 mostra as principais matérias-primas para a fabricação dos catalisadores heterogêneos básicos. Tais matérias-primas foram transportadas para o Laboratório de Biocombustíveis do IFMA-Campus Zé Doca.

Figura 1: Principais matérias-primas para sintetização dos catalisadores heterogêneos básicos.



Legenda:

Figura (a): Quartzo, rejeito da extração de cobre e Figura (b): casca de sururu.

Fonte: Autoria própria (2022).

2.2. PREPARAÇÃO DOS SUPORTES E DO DOPANTE

2.2.1. Preparação dos suportes

O quartzo (Qtz) foi doado por uma mineradora e já disponibilizou o referido suporte com partículas nominais abaixo de 0,12mm de diâmetro. O referido material foi calcinado a 850°C durante 2 horas em forno mufla. As cinzas oriundas da etapa de calcinação foram denominadas de Qtz.

2.2.2. Preparação do dopante

As conchas do *Mytella charruana* (Mc) foram lavadas e limpas com água corrente para eliminação de impurezas e restos do referido molusco. Posteriormente foram imersas em solução de ácido hipoclorito durante 12 hrs. Após a limpeza, as conchas foram secas em estufa a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 24 horas e submetidas à moagem em moinhos de bolas a baixo de 0,12 mm. O pó oriundo da moagem das conchas de sururu (*Mytella charruana*), rico em óxido de cálcio (CaO) foi empregado para conferir o caráter básico ao catalisador heterogêneo básicos: **Qtz-Mc** contendo diferentes teores de CaO. Após o peneiramento abaixo de 0,15 mm e acima de 0,12 mm o pós das conchas de sururu foi calcinado em forno mufla a 850 °C durante 2 horas. A Figura 2 mostra o suporte mesoporoso à base de sílica (SiO₂) e o dopante à base de cálcio (Ca) pulverizados calcinado.

Figura 2: Matérias-primas tratadas termicamente para a produção dos catalisadores.



Legenda:

Mc: concha de sururu calcinado a 850°C e Qtz: quartzo calcinado a 850 °C.

Fonte: Autoria própria (2022).

2.3. PROCESSAMENTOS DOS CATALISADORES

No decurso deste trabalho, os catalisadores heterogêneos básicos suportados com SiO₂ provenientes do rejeito da extração mineral de cobre, quartzo, e dopados com Ca²⁺ extraído das conchas de sururu (Mc) foram sintetizados pelo método de impregnação úmida.

Num experimento típico para obtenção de um catalisador com 10% m/m de Ca²⁺, na etapa de hidratação em um béquer de 1000 mL contendo 600 mL de água destilada, foram dissolvidos 20g do pó da concha de sururu calcinado a 850°C. O sistema foi mantido em agitação à temperatura ambiente durante 15 minutos para a formação de Ca(OH)₂. Em seguida o sistema permaneceu em agitação durante 30 minutos a 60°C. Na etapa de dopagem, foram adicionados lentamente, 200 g do suporte mesoporoso à base de sílica e a mistura permaneceram em agitação durante 240 minutos. Posteriormente, o aquecimento foi desligado dando-se início à etapa de envelhecimento, que perdurou 24 horas visando o ancoramento completo do Ca(OH)₂ precipitado na matriz SiO₂.

Após a etapa de envelhecimento a mistura separada por filtração utilizando-se uma bomba a vácuo, o sólido retido foi seco a 100°C durante 24 horas. Finalmente, o sólido seco foi calcinado em um forno mufla a 850°C originando o catalisador contendo 10% de Ca²⁺ na matriz SiO₂. Procedimento análogo foi realizado para obtenção de catalisador contendo 20 e 30% de Ca²⁺ respectivamente.

Os catalisadores sintetizados foram codificados da seguinte maneira, **Qtz-Mc_x**, onde Mc, indica o percentual de cálcio impregnado, neste caso pó oriundo da calcinação das conchas de sururu (*Mytella charruana*), Qtz, indica que o suporte do catalisador foi formado a partir da calcinação do quartzo (Qtz). Os números sobrescritos indica o percentual de cálcio (x) ancorado na matriz. Para o procedimento supracitado tem-se o Qtz-Mc₁₀, cuja denominação é a seguinte: catalisador heterogêneo básico, suportado com sílica e dopado com 10% de cálcio.

2.4. CARACTERIZAÇÃO DOS CATALISADORES

Em se tratando de catálise, os métodos de caracterização físico-químicos são fundamentais para se compreender os fenômenos superficiais e interfaciais que envolvem uma reação química catalisada (SANTOS, 2016).

Todos os procedimentos de caracterização dos catalisadores e ensaios de atividades catalíticas foram realizados nos Laboratórios do Instituto de Química (IQ-UFRJ) e da Escola de Química (EQ-UFRJ) da Universidade Federal do Rio de Janeiro em colaboração com o Grupo de Pesquisas em Análises Químicas Sustentáveis (GPAQS/IFMA-Campus Zé Doca) do Instituto Federal do Maranhão - Campus Zé Doca. Os catalisadores foram caracterizados em

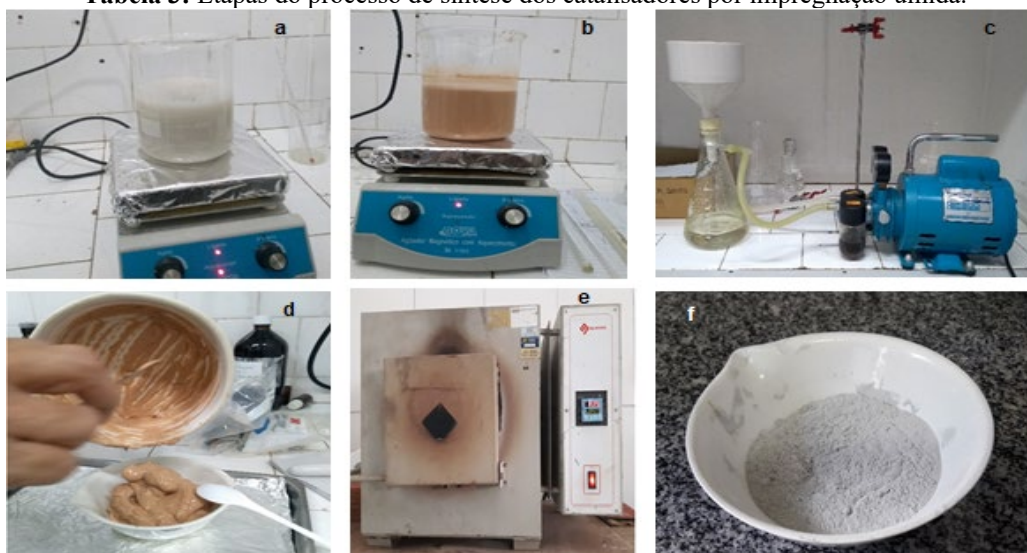
termos de propriedades texturais e diâmetro de poros (BET), difratometria de raios-X (DRX), basicidade qualitativa pelo método de Hammett, espectroscopia de fluorescência de raios-X (FRX) e espectroscopia de absorção na região do Infravermelho por transformado de Fourier (FTIR).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Síntese de catalisadores heterogêneos básicos

Os catalisadores heterogêneos básicos suportados com materiais mesoporosos à base de sílica, ancorados com cálcio para garantir o caráter básico por ter comportamento de uma base de Lewis (doadora de pares de elétrons) foram sintetizados pelo método de impregnação úmida conforme sugere Chen *et al.*(2015). A Figura 3 mostra a sequência da síntese dos catalisadores heterogêneos básicos tendo como suporte materiais com elevado teor de SiO₂ (quartzo, palha de milho, palha de feijão) impregnados com Ca²⁺ extraídos de conchas de sururu.

Tabela 3: Etapas do processo de síntese dos catalisadores por impregnação úmida.



Legenda:

Figura a: hidratação do CaO, Figura b: ancoramento do Ca²⁺ no suporte e envelhecimento da mistura, Figura c: filtração a vácuo da mistura, Figura d: recuperação do precipitado, Figura e: calcinação do catalisador obtido e

Figura f: catalisador produzido

Fonte: Autoria própria (2021).

Ao longo deste trabalho foram sintetizados 3 catalisadores sendo, Qtz-Mc₁₀, Qtz-Mc₂₀ e Qtz-Mc₃₀, A Figura 4 ilustra os catalisadores sintetizados ao longo da execução deste trabalho.

Tabela 4: Catalisadores sintetizados pela técnica de impregnação úmida.



Fonte: Autoria própria (2021).

3.2. CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS CATALISADORES OBTIDOS

As características morfológicas das fases presentes em um catalisador heterogêneo e suas propriedades intrínsecas dependem do processo de preparação das matérias-primas, do tratamento térmico e da impregnação do dopante na matriz que originarão o catalisador. Matérias-primas com granulometria que permitam maior superfície de contato e homogeneização adequado resultam em maior reatividade durante a etapa de calcinação o que leva a um menor teor de componentes indesejáveis, um exemplo típico é a presença de carbonatos na composição de materiais calcáreas, que pode ser explicada pela utilização de baixas temperatura e/ou tempo de aquecimento reduzido (FOLGUEIRA; GEMELLI; LOURENCI, 2003).

O comportamento de um catalisador heterogêneo é influenciado pela presença das fases e pelo seu comportamento quando submetido a um processo reacional. O conhecimento da estrutura física, química e a mecânica de materiais catalíticos, suas características e seus teores é de fundamental importância para conduzi-los de forma eficaz e eficiente durante a aplicação que se destina. Neste sentido diferentes técnicas eletroanalíticas utilizadas para o desvendamento do perfil termoquímico e da capacidade catalítica dos catalisadores heterogêneos visando a produção ecologicamente sustentável de biodiesel. Neste sentido, o catalisador, Qtz-Mc, suportado com SiO_2 oriundo do quartzo (Qtz) extraído de rejeitos ao longo da exploração de minérios de cobre e ancorados com diferentes teores de CaO extraído do pó das conchas de sururu (Mc) foi caracterizado por diferentes técnicas visando a comprovação da incorporação do dopante (Mc) matriz (Qtz) dos referidos catalisadores heterogêneos básicos. A seguir são descritos os resultados revelados no decurso da investigação do perfil físico, químico e térmico do Qtz-Mc com diferentes teores de CaO que lhe confere o caráter básico, além da caracterização físico-química das matérias-primas que culminaram com a formação dos referidos catalisadores. Tais matérias foram caracterizadas na sua forma in natura e ativadas (calcinação).

3.2.1. Propriedades texturais e diâmetro de poros

As propriedades texturais e o tamanho médio dos poros do suporte (Qtz) e o tamanho do dopante (Mc) e dos catalisadores heterogêneos sintetizados são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1: Propriedades texturais das matérias-primas e dos catalisadores heterogêneos.

Materiais	Propriedades texturais		
	$\delta_{\text{BET}}(\text{m}^2.\text{g}^{-1})$	$V_p(\text{cm}^3.\text{g}^{-1})$	$D_{\text{pBJH}}(\text{nm})$
Qtz não calcinado	0.5	0.0002	3.29
Qtz calcinado	1.0	0.0011	5.46
Mc não calcinado	1.3	0.0043	15.6
Mc calcinado	1.8	0.0025	5.75
Qtz-Mc ₁₀	0.7	0.0018	30.1
Qtz-Mc ₂₀	0.5	0.0016	11.6
Qtz-Mc ₃₀	0.7	0.0021	10.8

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Ao compararem-se as propriedades texturais da matriz e do dopante antes e após sua ativação a 850° C observou-se um aumento na área superficial específica (δ), do volume de poros (V_p) e do diâmetro médio de poros da matriz (D_p). Com o aumento da temperatura de calcinação possivelmente ocorreu uma expansão (dilatação) de mesoporos formando poros e conseqüentemente, elevação dos parâmetros texturais (δ e V_p) e do diâmetro médio dos poros do Qtz.

Quanto ao dopante (Mc) observou-se redução do V_p e do D_p e elevação da δ . Durante o processo de calcinação do Mc, o CaCO_3 (carbonato de cálcio) se decompôs em óxido de cálcio (CaO), liberando gás carbônico (CO_2), deixando espaço vazios, formando microporos e mesoporos. Sendo assim, subtende-se que o volume de poros e o diâmetro de poros diminuíram e conseqüentemente, a área superficial específica aumentou.

Em relação aos catalisadores sintetizados (Qtz-Mc₁₀, Qtz-Mc₂₀, Qtz-Mc₃₀) contendo 10, 20 e 30% de CaO incorporados a matriz, pode-se inferir que ao adicionar-se o dopante (CaO) na matriz (SiO_2) ocorreu retração na parede da matriz fechando seus mesoporos devido à temperatura imposta no decorrer da etapa de envelhecimento por ocasião da síntese dos catalisadores e preenchimento de parte dos poros com a incorporação do CaO. Diante do exposto, justifica-se a redução do volume de poros da área superficial específica e significativo aumento do diâmetro médio de poros dos catalisadores sintetizados quando comparados com o perfil revelado para a matriz e ao dopante.

Na Tabela 1 observou-se que a área superficial específica e o volume dos poros dos

catalisadores são semelhantes. Este fato nos leva a crer que os referidos catalisadores apresentam capacidade adsortiva muito parecida.

Os resultados revelados no decurso da análise das propriedades texturais e diâmetro médio de poros confirmaram que de fato o suporte Qtz foi ancorado com o dopante na superfície de seus poros conferindo o caráter básico ao Qtz-Mc, além da eficácia do processo de síntese dos catalisadores heterogêneos.

3.2.2. Espectroscopia de fluorescência de raios-X

A composição química da matriz mesoporosa do dopante e dos catalisadores foi determinada pelo método da espectroscopia de fluorescência de raios-X (FRX). Os resultados são mostrados na Tabela 2 respectivamente.

Em relação ao quartzo observaram-se na Tabela 4 que o óxido de silício (SiO_2) é o composto que se apresenta com maior percentual (93,39% SiO_2) e ao ser calcinado ocorre uma pequena perda da sílica. Por outro lado, o dopante é rico em carbonato de cálcio (CaCO_3) e ao ser ativado o mesmo se decompõe aumentando o teor de CaO indicando que o tratamento térmico a 850° C imposto ao Mc foi capaz de elevar o teor de CaO responsável pelo caráter básico dos catalisadores sintetizados no decurso deste trabalho.

Os resultados de FRX revelados para o quartzo e para o Mc, além dos componentes primários Si e Ca apresentaram vários traços de metais na forma de óxidos, em face do elevado teor de oxigênio presente na composição mineralógica dos referidos materiais.

Os catalisadores heterogêneos, Qtz-Mc₁₀, Qtz-Mc₂₀ e Qtz-Mc₃₀ apresentaram em sua composição química a matriz mesoporosa, SiO_2 e o dopante CaO. Nota-se na Tabela 2 que ao elevar-se o teor de CaO ocorre redução de SiO_2 indicando que ocorre o ancoramento do dopante na matriz mesoporosa.

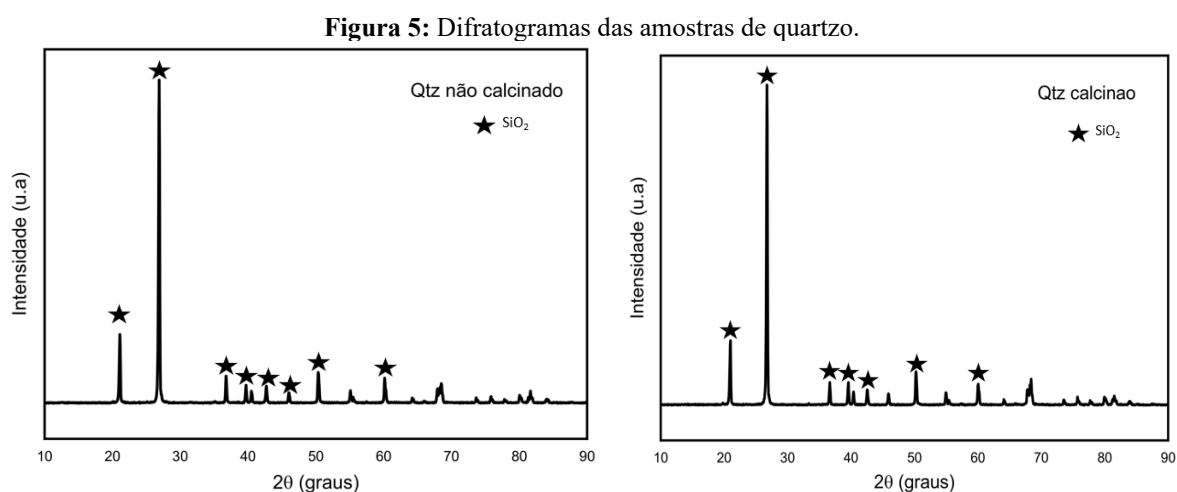
Tabela 2: Composição química das matérias-primas e dos catalisadores heterogêneos básicos.

Materiais	Componentes (%)							
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	NiO
Qtz não calcinado	0,27	93,39	4,62	0,43	0,65	-	0,58	0,03
Qtz calcinado	0,13	92,84	4,47	0,64	0,62	0,63	0,61	0,02
Mc não calcinado	89,39	2,09	3,41	1,12	0,22	2,79	0,81	0,14
Mc calcinado	94,57	2,01	2,49	-	0,19	-	0,63	0,09
Qtz-Mc ₁₀	7,87	85,18	4,97	0,73	0,54	-	0,65	0,03
Qtz-Mc ₂₀	15,77	78,54	4,40	-	0,55	-	0,69	0,02
Qtz-Mc ₃₀	25,10	69,48	3,98	-	0,50	-	0,88	0,03

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

3.2.3 Difractometria de raios-X

As análises de difração de raios-X para o quartzo (Qtz) na sua forma in natura e ativada são mostradas na Figura 5. Durante as análises dos difratogramas de raios-X observou-se a presença de picos alusivos ao mineral quartzo (SiO_2) e uma pequena diferença (minúscula) na contagem de picos entre a amostra in natura e a amostra de quartzo calcinado especificamente entre a faixa de distanciamento de 30 a 40°. O desaparecimento de picos (quase imperceptível) na amostra calcinada pode estar relacionado com diferentes concentrações de impurezas presentes nessas amostras.

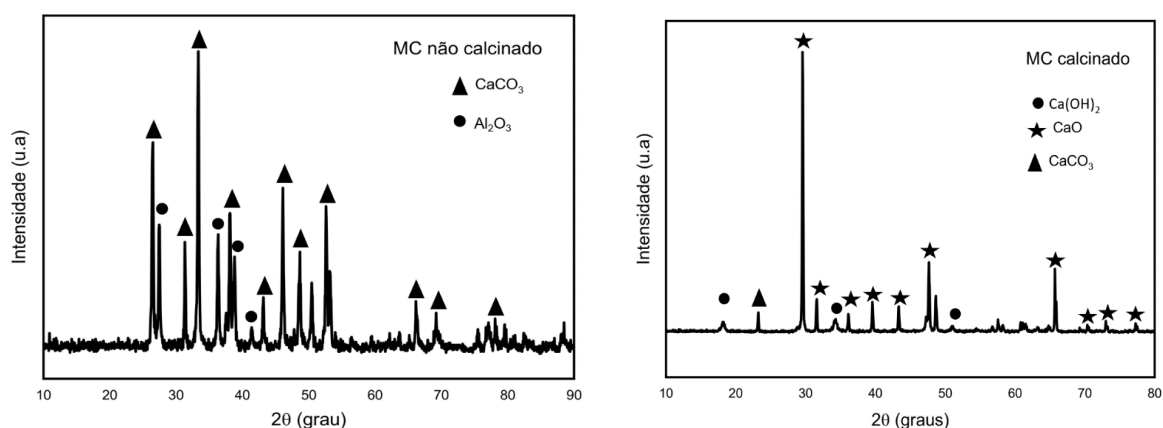


Fonte: Autorial própria (2022).

Comparando-se as matérias primas não calcinada e calcinada com a Tabela 2, verifica-se que o Qtz é constituído majoritariamente por óxido de silício (SiO_2) e que houve perda por calcinação alusivo ao teor de SiO_2 , o que justifica a redução de intensidade de alguns picos na amostra calcinada. Em termos gerais, não houve mudança significativas na estrutura morfológica do Qtz. Farias e Farias (2011) ao estudarem amostras de quartzo alfa e quartzo com enxofre, por meio da difratometria de raios-X também não identificaram diferenças discrepantes nas amostras analisadas.

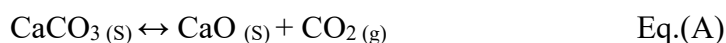
A Figura 6 mostra os difratogramas revelados para a amostra in natura e calcinada do dopante, Mc, extraído do pó das conchas de sururu. Na referida Figura observa-se que o carbonato de cálcio (CaCO_3) é o composto de maior participação na composição química do Mc conforme mostrado durante os ensaios de FRX (Tabela 4). Tais dados estão condizentes com os resultados encontrados na literatura. Pinho, da Silva e Pinheiro (2017) extraíram o CaO (óxido de cálcio) da casca de ovo de galinha e observaram resultados semelhantes.

Figura 6: Análise difratométrica do pó extraído das conchas de sururu.



Fonte: Autorial própria (2022).

A preparação do pó das conchas de sururu (rica em CaCO_3) ainda é constituída de compostos orgânicos e inorgânicos em menor proporção e para a obtenção do dopante (CaO) se tornou necessário converter o CaCO_3 em CaO através de um tratamento térmico denominado de calcinação. Sendo assim o pó das conchas de sururu foi submetido à etapa de calcinação durante 2 horas a $850\text{ }^\circ\text{C}$ no decurso da ativação (calcinação) o CaCO_3 é decomposto em CaO e gás carbônico (CO_2). A reação química de combustão do CaCO_3 é mostrada na equação a seguir.



O CaO em temperatura ambiente converte o CO_2 da atmosfera revertendo as reações. Comparando-se os resultados dos ensaios alusivos à espectroscopia de fluorescência de raios-x mostrados na Tabela 4, verificam-se que ocorreu, um aumento no teor de CaO no Mc após a calcinação indicando que a temperatura de $850\text{ }^\circ\text{C}$ foi suficiente para à conversão de CaCO_3 em CaO .

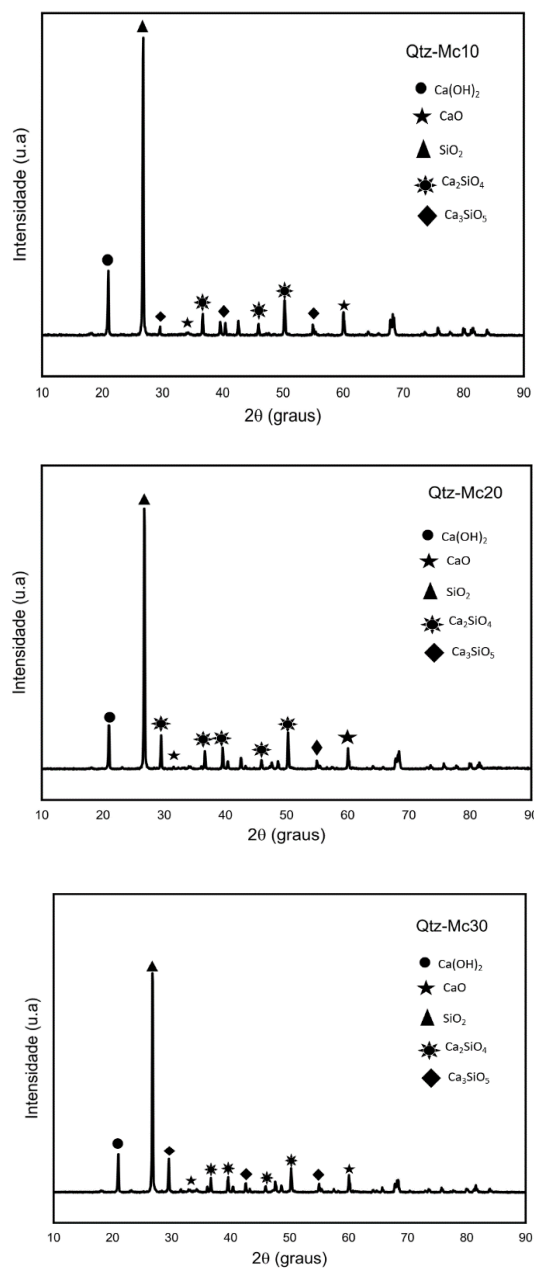
A Figura 14 mostra os difratogramas de raios-x para a amostra de Mc calcinada a 850°C . Nela a amostra apresentou picos atribuídos ao CaO , além de picos característicos de hidróxido de cálcio [$\text{Ca}(\text{OH})_2$].

Como a calcinação foi efetiva durante a ativação do CaCO_3 em CaO não era de se esperar o surgimento de picos e características de $\text{Ca}(\text{OH})_2$, porém, CaO é facilmente inativado pela umidade e pelo CO_2 do ar atmosférico convertendo-o em $\text{Ca}(\text{OH})_2$ e liberando calor do processo de acordo com a seguinte equação (DIAS *et al.*, 2021).



A Figura 7 apresenta os perfis de difração de raios-x dos catalisadores heterogêneos, Qtz-Mc, com 10, 20 e 30% de CaO incorporados a matriz mesoporosa (SiO_2).

Figura 7: Perfis de difração de raios-x para os catalisadores heterogêneos Qtz-Mc.



Fonte: Autoria própria (2022).

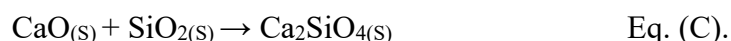
Os difratogramas exibiram picos característicos de fases cristalinas alusivos ao Ca(OH)_2 , ao CaO , a SiO_2 e aos silicatos dicálcico (Ca_2SiO_4) e tricálcico (Ca_3SiO_5) respectivamente.

A presença de picos característicos de SiO_2 e CaO já eram esperados em face da composição dos catalisadores, já a presença de picos alusivos ao Ca(OH)_2 nem tanto.

Os catalisadores apresentam padrão de picos de DRX bem acentuados do Ca(OH)_2 indicando que durante a síntese e/ou armazenamento os mesmos tiveram contato com o ar atmosférico ocasionando a hidratação do CaO . Neste caso, Pinto (2021) sugere o aquecimento prévio dos catalisadores antes de usá-los no processo de transesterificação para a conversão de óleos vegetais em biodiesel. O referido aquecimento deve ser realizado na mesma temperatura de calcinação durante 30 minutos visando a remoção do CO_2 e da umidade adsorvida pelo catalisador. Dias *et al.* (2021), observaram a hidratação e a carbonatação durante a etapa de envelhecimento no decorrer da síntese de um catalisador à base de CaO para a produção de biodiesel. O referido grupo de pesquisadores conseguiu reativar o catalisador inativo convertido em Ca(OH)_2 através de um tratamento térmico a $470\text{ }^\circ\text{C}$; temperatura esta inferior à necessário para decomposição do CaCO_3 . O tratamento térmico realizado por Dias *et al.*, (2021), foi capaz de limpar a superfície do catalisador reativando em 90% sua atividade catalítica inicial.

Na Figura 7, observam-se através dos difratogramas revelados aos catalisadores heterogêneos básicos, que certos picos de algumas fases estão sobrepostos uns aos outros ou estão muito próximos dificultando sua identificação.

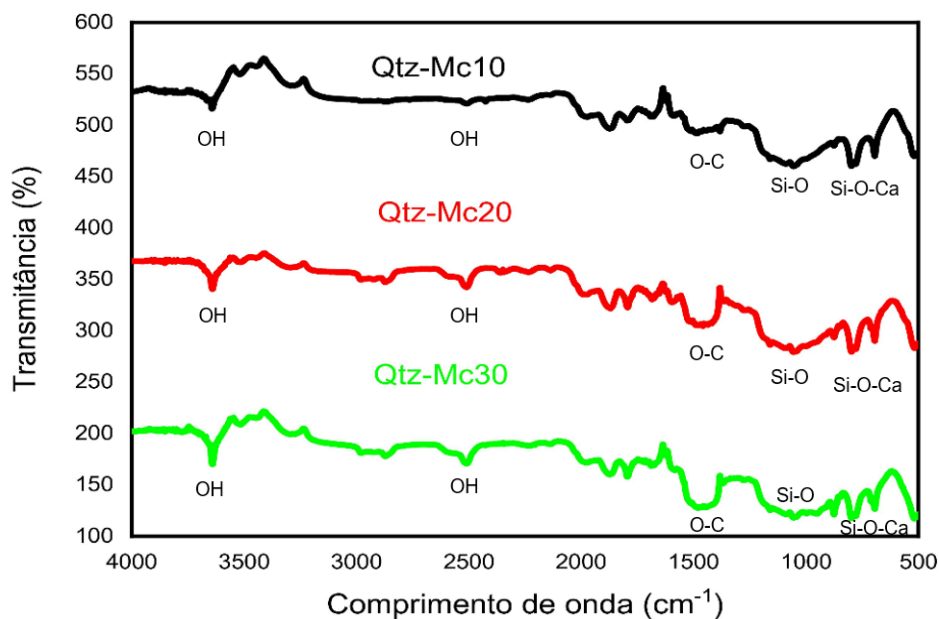
Comparando-se os difratogramas da Figura 6 notou-se claramente a presença de picos correspondentes aos silicatos dicálcico, (Ca_2SiO_4) e tricálcico (Ca_3SiO_5), como resultado da solubilidade de fases intermediárias, o que vem a confirmar que houve a impregnação do CaO na matriz mesoporosa (SiO_2) conforme anunciado nas análises texturais e de fluorescência de raios-X. Para a formação do Ca_2SiO_4 ocorre a seguinte reação química:



3.2.5. Espectroscopia de absorção na região do infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

O resultado dos ensaios de espectroscopia na região do infravermelho (IV) das amostras do Qtz-Mc com diferentes teores de CaO é ilustrado na Figura 8. Nos referidos catalisadores observam-se que uma banda com vários desdobramentos se estende entre $1050\text{-}1008\text{ cm}^{-1}$. Tais bandas são alusivas à ligação Si-O indicando a presença da sílica, SiO_2 , na matriz mesoporosa dos catalisadores sintetizados.

Figura 8: Resultados de FTIR obtidos para os catalisadores heterogêneos básicos.



Fonte: Autoria própria (2022).

Picos de absorção em 991 cm^{-1} e os picos de desdobramento na faixa de $800\text{ a }550\text{ cm}^{-1}$ foram atribuídos à ligação Si-O-Ca evidenciando a incorporação do dopante, CaO, na matriz, Qtz, devido à formação de silicatos de cálcio conforme relevados nas análises de DRX.

Bandas de absorção foram observadas em $3650, 2351\text{ e }1620\text{ cm}^{-1}$ indicativo da ligação de OH de moléculas de água, seja de cristalização, seja de constituição. Na Figura 16 observam-se uma banda em 1470 cm^{-1} atribuída ao estiramento de vibrações de O-C na superfície do CaO. Gen *et al.* (2015) produziram um catalisador suportado com cinzas de palhas de arroz, dopados com o pó de casca de ovo ambos tratados termicamente a 800 °C visando a conversão do óleo de palma em biodiesel por catálise heterogênea básica e obtiveram resultados semelhantes de FTIR quando comparados com os obtidos neste trabalho.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho utilizou o tratamento térmico por calcinação para preparar o Qtz (quartzo) e o Mc (*Mytella charruana*) para obtenção do suporte catalítico e do dopante, cujo objetivo foi oferecer uma elevada superfície do catalisador para posterior adição do óxido de cálcio como fase ativa.

No tocante à síntese do catalisador heterogêneo, utilizou-se o método da impregnação por via úmida. O ancoramento do CaO oriundo do pó calcinado das cochas de sururu no quartzo, um resíduo proveniente da extração de minérios de cobre se mostrou bastante eficaz, uma vez que é uma técnica de fácil execução, relativamente rápida, além disso, utilizou-se resíduos

originários da extração mineral de cobre e do extrativismo da milicultura obtendo-se um material novo, inovador que pode agregar valor econômico no processamento de biodiesel por transesterificação heterogênea básica, reduzindo os custos do processo e tornando o biodiesel mais competitivo em relação aos diesel de petróleo.

Com respeito às técnicas de caracterização, a espectroscopia de fluorescência de raios-x (FRX) revelou que os componentes majoritários do quartzo é a sílica com 93% SiO₂ e do pó das conchas de sururu é o óxido de cálcio com 95% CaO. Quando se compara os teores dos materiais in natura e calcinados observa-se que houve um aumento significativo de SiO₂ e de CaO confirmando que o tratamento térmico a 850°C foi eficaz no processo de ativação destes materiais. Os catalisadores com diferentes teores de CaO na matriz confirmaram que ocorreu a ativação do dopante que lhes conferiu o caráter básico. A análise das propriedades texturais e diâmetro de poros revelou que a área superficial específica, o volume de poros e o tamanho do diâmetro de poros dos catalisadores sintetizados são semelhantes indicando que a capacidade adsortiva dos catalisadores são muito parecidas. O tamanho médio de poros da matriz variou de 10,8 a 30,1 nm, portanto, a matriz dos catalisadores é formada por sílica mesoporosa de acordo com a classificação da IUPAC. Os resultados da difração de Raios-x (DRX) mostraram nos difratogramas dos catalisadores a presença de picos alusivos aos silicatos dicálcicos (Ca₂SiO₄) e tricálcicos (Ca₃SiO₅) resultante da solubilidade de fases intermediárias. Os resultados dos ensaios de espectroscopia de absorção na região do infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) das amostras dos catalisadores revelou espectros com picos de absorção atribuídos à ligação Si-O-Ca evidenciando a formação de silicatos de cálcio. Finalmente, o estudo de força da basicidade qualitativa dos catalisadores apresentou ponto de viragem de coloração dos indicadores de Hammett indicativo que os catalisadores suportados apresentam um caráter básico, confirmando que de fato ocorreu o ancoramento do CaO proveniente do pó das conchas de sururu na matriz mesoporosa conforme detectado nas análises de FRX, DRX, BET e FTIR.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio e aporte financeiro concedido pela PRPGI (Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-graduação e Inovação do IFMA, pelo Campus Zé Doca, pelo Grupo de Pesquisas em Análises Químicas Sustentáveis (GPAQS) e pela Universidade Federal do Rio de Janeiro.

REFERÊNCIAS

AMANI, H.; AHMAD, Z.; HAMEED, B. H. **Synthesis of fatty acid methyl esters via the methanolysis of palm oil over $\text{Ca}_{3.5}\text{Zr}_{0.5}\text{Al}_x\text{O}_3$ mixed oxide catalyst.** *Renewable Energy* vol.66, p.680-685, 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148114000378>>. Acessado em: Jan, 2022.

BOEY, P. L. ; *MANIAM, G. P. ; HAMID, S. A. **Performance of calcium oxide as a heterogeneous catalyst in biodiesel production: A review.** *Chemical Engineering Journal*, Volume 168, p.15-22, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1385894711000362>>. Acessado em: Abr, 2022.

CASTRO, W. S. **Extração e preparação do óleo de gongo (*Pachymerus nucleorum*) para obtenção de biodiesel por rota metilica.** *Zé Doca (MA)*, 2019, 45 f. TCC (Graduação em Licenciatura Química)- Instituto Federal do Maranhão-Campus Zé Doca, Zé Doca(MA), 2019.

CHEN, Guan-Yi; SHAN, Rui; SHI, Jian-Fu; YAN, Bei-Bei. **Transesterification of palm oil to biodiesel using rice huskash-based catalyst.** *Fuel Processing Tecnology*, v. 133, p.8-13, 2015. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037838201500020X>>. Acessado em: Mar, 2022.

CORDEIRO, L de N. P.; HENRIQUES, A. C. A.; SOUZA, P. S. L. **Contribuição ao estudo de aproveitamento da cinza do caroço de açaí como material pozolâmico.** In: 49º Congresso Brasileiro de Concreto. Anais. Bento Gonçalves (RS): CBC, 2007. Disponível em: <http://www.ibracon.org.br/eventos/49cbc/cobertura.asp>>. Acessado em: Jan, 2022.

DESHMANE, V. G.; ADEWUYL, Y. G. **Synthesis and kinetics of biodiesel formation via calcium methoxide base catalyzed transesterification reaction.** *Fuel*, vol. 107, p. 474-482, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236112011040>>. Acessado em: Fev, 2022.

HASHEMINEJAD, M. *et al.* **Upstream and downstream strategies to economize biodiesel production.** *Bioresource Technology*, Volume 102, p. 461-468, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852410016263>>. Acessado em: Jan, 2022.

HELWANI, Z. *et al.* **Solid heterogeneous catalysts for transesterification of triglycerides with methanol: A review,** *Appl. Catal. A Gen.*, vol. 363, no. 1-2, p. 1- 10, 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926860X09003652>>. Acessado em: Fev, 2022.

HO, W.W.; Ng, H. K.; GAN, S. **Development and characterization of novel heterogeneous palm oil mill boiler ash-based catalysts for biodiesel production.** *Bioresource Technology*, vol. 31, p.158-164, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852412012941>>. Acessado em: Mar, 2022.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz, v.1: Método químico e físicos para análise de alimentos- óleos e gorduras.** 5 ed. São Paulo. IMESP, 2004.

JANULIS. P. **Reduction of energy consumption in biodiesel fuel life cycle.** *Renewable Energy* vol.29, p.681-871, 2004. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148103003100>>. Acessado em: Fev, 2022.

JITRWUNG, R.; J. VERRETT, J.; YARGEAU, V. **Optimization of selected salts concentration for improved biohydrogen production from biodiesel-based glycerol using *Enterobacter aerogenes*.** *Renewable Energy*, vol. 50, p.222-226, 2013. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148112004004>>. Acessado em: Mar, 2022.

LIMA, A. L.; RONCONI, C. M.; MOTA, C. J. A. **Heterogeneous basic catalysts for biodiesel production.** *Catalysis Science e Technology*, Toulouse, France, v. 6, p. 2887-2891, 2016. Disponível em: <<https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2016/cy/c5cy01989c/unauth>>. Acessado em: Jan, 2022.

MACARIO, A *et al.* **Biodiesel production process by homogeneous/heterogeneous catalytic system using an acid–base catalyst.** *Applied Catalysis*, vol. 378, p. 160-168, 2010.

MORETO, E.; ALVES, R. F. **Óleos e gorduras: processamento e análise.** Florianópolis: Ed. Da UFSC, 1986. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926860X10001146>>. Acessado em: Mar, 2022.

MOSER. B. R. **Influence of extended storage on fuel properties of methyl esters prepared from canola, palm, soybean and sunflower oils.** *Renewable Energy*, vol. 36 p. 1221-1226, 2011. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148110004805>>. Acessado em: Mar, 2022.

NAKATANI N, *et al.* **Transesterification of soybean oil using combusted oyster shell waste as a catalyst.** *Bioresource Technol*, vol. 100, p. 1510-1513, 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852408007736>>. Acessado em: Fev, 2022.

QUINTELLA, S. A. *et al.* **Transesterification of soybean oil using ethanol and mesoporous silica catalyst.** *Renewable Energy*, p. 136-140, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852408007736>>. Acessado em: Fev, 2022.

RAMOS, M de S. **Obtenção de carvões ativados a partir de resíduos industriais e agrícolas.** Salvador (BA), 2014, 137f. Tese (Doutorado em Ciências)-Programa de Pós-Graduação em Química. Universidade Federal da Bahia, Salvador (BA), 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ufba.br/handle/ri/19173>>. Acessado em: Mar, 2022.

RODRIGUES, M. S. **Caracterização de cinzas residuais da queima de casca de arroz para a produção de argamassa.** Campinas (SP), 2008, 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Estadual de Campinas, Campinas (SP), 2008.

SANTOS, R. C. R. **Catalisadores bimetálicos de óxidos de Mo-Cu (Ni ou Co) suportado em alumina para conversão de glicerol a intermediários químicos**. Fortaleza (CE), 2016, 179 f. Tese (Doutorado em Química)-Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016. Disponível em: < <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/18539>>. Acessado em: Jan, 2022.

STORTI, F. **Desempenho catalítico de óxidos multifuncionais sintetizados por spray pirólise para obtenção de biodiesel: investigação estrutural**. São José do Rio Preto (SP), 2019, 175 f. Tese (Doutorado em Química)-Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Estadual Paulista, Júlio de Mesquita Filho, São José do Rio Preto (SP), 2019. Disponível em: < <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/182449>>. Acessado em: Fev, 2022.

TECNOLOGIAS BIOENERGÉTICAS. **Procedimentos operacional padrão da Brasil Ecodiesel- Análise do controle de Qualidade**, 30p, 2008.

VIEIRA, J. S. C. **Síntese de catalisadores heterogêneos ácidos e básicos para a produção de biodiesel**. Rio de Janeiro, 2017, 144f. Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos. Escola de Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: < <http://www.tpqb.eq.ufrj.br/download/sintese-de-catalisadores-heterogeneos-acidos-e-basicos-para-producao-de-biodiesel.pdf>>. Acessado em: Mar, 2022.

WAN, Z.; HAMEED, B. H. **Transesterification of palm oil to methyl ester on activated carbon supported calcium oxide catalyst**. Bioresource Technol, vol. 102, p. 2659-64, 2011. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096085241001775X>>. Acessado em: Mar, 2022.

ZANETTE, A. F. *et al.* **Screening, optimization and kinetics of Jatropha curcas oil transesterification with heterogeneous catalysts**. Renewable Energy, vol. 36 , p.726-731, 2010. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096014811000399X>>. Acessado em: Jan, 2022.

CAPÍTULO 16

INSTRUMENTOS NORMATIVOS QUE ORIENTAM ESTRATÉGIAS DE SEGURANÇA HÍDRICA NA PARAÍBA

Júlia Diniz de Oliveira
Raimundo Nonato Júnior
Marcos Vinicius da Silva Fernandes

RESUMO

O acesso a água em quantidade e qualidade adequados ao consumo humano está no escopo do Plano Regional do Desenvolvimento do Nordeste, o qual considera a água como um fator chave para o desenvolvimento sustentável da região, em especial a porção semiárida. Sob essa perspectiva, o presente trabalho toma como objetivo apresentar os principais instrumentos normativos que orientam a gestão dos recursos hídricos no estado da Paraíba, Brasil. Os procedimentos metodológicos realizados foram levantamento bibliográfico e documental das normativas que regulamentam a segurança hídrica no Brasil, com ênfase no estado da Paraíba. Em síntese, os resultados demonstram como o uso do território reflete e é reflexo de múltiplas escalas, como as determinações horizontais refletem no uso vertical do território e como a escala do lugar apresenta especificidades sociais, ambientais e políticas que precisam ser consideradas ao longo do processo de regulamentação do uso e gestão dos recursos hídricos.

PALAVRAS-CHAVE: Gestão do território. Segurança Hídrica. Brasil. Paraíba.

1. INTRODUÇÃO

A segurança hídrica consiste na capacidade de uma população de salvaguardar o acesso sustentável a quantidades adequadas de água de qualidade para garantir meios de sobrevivência, o bem-estar humano, o desenvolvimento socioeconômico; para assegurar proteção contra poluição e desastres relacionados à água, e para preservação de ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política (ONU, 2013).

Em outras palavras, segurança hídrica é gerir riscos associados à água, incluindo riscos de armazenamento de água, do seu excesso e poluição, riscos de enfraquecer a resiliência dos sistemas de água doce. Portanto, compõem o conceito de segurança hídrica atender, inicialmente, necessidades básicas humanas, produção de bens e serviços e por fim, as necessidades ambientais (OCDE, 2013).

A segurança hídrica orienta a gestão dos recursos hídricos a resultados efetivos em termos de garantia de disponibilidade de água para os usos múltiplos que atenda às expectativas da sociedade, além de protegê-la contra os efeitos negativos dos eventos hidrológicos extremos. Trata-se de um trabalho em conjunto, que deve envolver o poder público, as empresas privadas e a população (MELO; JOHNSON, 2017).

Para atingir a segurança hídrica é necessário: Políticas e planos incorporados em um processo de desenvolvimento nacional e internacional; os líderes mundiais e agências de financiamento devem assumir que o investimento em água é uma oportunidade e uma solução; ir além do que é normalmente considerado "negócio da água" (*Global Water System Project*, 2012).

Desse modo, a segurança hídrica está associada à maneira que os setores e as demandas humanas são administrados; balanceamento das prioridades sociais, ambientais e econômicas, assim como balanceamento entre soluções e investimentos, em pequena e grande escalas, em armazenamento e transporte de água (transposições) e na proteção do recurso (ANA, 2020). Nessa perspectiva, as estratégias para adotadas para acesso a água em quantidade e qualidade satisfatórias devem ser compreendidas através das práticas de “relações de poder necessária para dirigir, no tempo e no espaço, a coerência das múltiplas finalidades, decisões e ações” (BECKER, 1991, p. 47), ou seja, pela Gestão do território, importante referencial para a organização de políticas públicas, inclusivas e promotoras de igualdade (BECKER, 2005).

Sob essa perspectiva, o presente trabalho toma como objetivo apresentar os principais instrumentos normativos que orientam a gestão dos recursos hídricos no estado da Paraíba, Brasil. Para tanto, os procedimentos metodológicos realizados foram levantamento bibliográfico e documental dos instrumentos normativos que regulamentam a segurança hídrica no Brasil, com ênfase nas normas que orientam a segurança hídrica no estado da Paraíba.

2. GESTÃO DO TERRITÓRIO FRENTE A SEGURANÇA HÍDRICA DA PARAÍBA: OS INSTRUMENTOS NORMATIVOS

As estratégias de gestão no uso da água não obedecem a fronteiras políticas e necessita ser planejada em diálogo com múltiplas escalas de poder. Entre 1951 e 2021, foram publicados 232 documentos que orientam a gestão dos recursos no Brasil, desde normas com orientações em escala nacional, regional e estadual.

O tema gestão dos recursos hídricos é abordado na Constituição Estadual (1989) e está contido na Política Estadual de Recursos Hídricos (1996). Entre as medidas mais recentes, destaca-se o Projeto de Segurança Hídrica do Estado da Paraíba, que está em fase de desenvolvimento, fruto de parceria com o Banco Mundial e visa desenvolver ações para o fortalecimento da redução de escassez hídrica no semiárido bem como ações de melhoramento sanitário na cidade de João Pessoa, capital do estado.

Esse último documento é um exemplo interessante sobre a necessidade de desenvolver estratégias de desenvolvimento regional, embora o documento tenha como foco garantir a segurança hídrica no território paraibano, reconhece a necessidade de medidas que ultrapasse o limite do estado. Como também, reconhece a necessidade de articulação com outras escalas, nesse caso o Banco Mundial, como financiador do projeto.

Portanto, para estabelecer uma relação integrada com esses espaços é necessário diferentes formas de planejamento e execução de políticas públicas que atendam as demandas básicas, a equidade antes e intragerações; o desenvolvimento econômico; e a conservação do capital ambiental. Para tanto, essas áreas são alvos de instrumentos normativos multiescalares, com repercussões sobre o uso desse território.

Falar em segurança hídrica é falar em território, assim como, falar em política é refletir sobre seus vínculos com a sociedade e com o Estado assim como suas relações de poder (MELLO-THÉRY, 2011). Em outras palavras, a gestão dos recursos hídricos se caracteriza como arranjos naturais, modificados pelo uso social por meio dos diferentes sistemas de engenharia, arranjo político, cultural e econômico que dão um significado e valor específico ao uso dessas áreas.

Portanto, os recursos hídricos compõem o mosaico da paisagem, cuja representação corresponde à estratégia projetada, realizada a partir dos diferentes usos desse território. A administração, regulação e fiscalização dessas áreas são regidas por instrumentos jurídicos públicos de escala nacional, estadual e municipal; o conjunto destes instrumentos, seus agentes fiscalizadores e legisladores compõem aquilo que aqui denominamos por “normatividade” da gestão territorial.

Quadro 2: Normas sobre segurança hídrica no estado da Paraíba.

Nome	Tipo	Ano	Objetivo	Conteúdo de Segurança Hídrica
Águas do Rio São Francisco: Educação Ambiental para o Uso Sustentável no Estado da Paraíba	Projeto	2017	Assegurar o uso racional e a conservação das águas oriundas da transposição do Rio São Francisco nos municípios beneficiados pelos eixos leste e norte da obra.	Conscientização para a utilização dos recursos hídricos.
Comitês Estaduais de Bacias Hidrográficas	Comitês	2000	Promover o debate das questões relacionadas aos recursos hídricos da bacia, articular a atuação das entidades que trabalham com esse tema; arbitrar em primeira instância os conflitos relacionados a recursos hídricos, aprovar e acompanhar a execução do plano de recursos hídricos da bacia.	Discutir acerca do uso e preservação dos recursos hídricos das bacias hidrográficas.
Conselho Estadual de Recursos Hídricos	Lei	1996	I – Analisar e aprovar a Política Estadual de Recursos Hídricos e acompanhar a sua execução; II - Analisar propostas de alteração da legislação pertinente a recursos hídricos e à Política Estadual de Recursos Hídricos; III – Aprovar o Plano Estadual de Recursos Hídricos, acompanhar a sua execução e determinar as providências necessárias ao cumprimento de suas metas.	Órgão que aprova a PERH, intermedia as ações entre os comitês de bacias, e traça objetivos e propostas normativas para os principais órgãos reguladores das questões hídricas.
Constituição Estadual	Normativa	1989	Estabelece princípios básicos para a gestão dos recursos hídricos, como a necessidade de plano estadual, de um sistema de gestão estadual, assegurar recursos financeiros e outros mecanismos institucionais.	Capítulo V: Dos recursos hídricos e minerais (Art. 240 a 245).
Fundo Estadual de Recursos Hídricos	Normativa	1996	Possui a finalidade de oferecer suporte financeiro à execução da Política Estadual de Recursos Hídricos.	Articulação financeira para manutenção de ações em prol da gestão e segurança hídrica.
Plano Estadual de Recursos Hídricos	Plano/ Normativa	2006	O principal documento que visa orientar a implementação da Política estadual de recursos hídricos.	Parecer contextualizado da situação hídrica do estado; Plano hídrico com um nível de detalhamento que promove um maior planejamento hídrico.
Política Estadual de Recursos Hídricos	Normativa	1996	Visa assegurar o uso integrado e racional desses recursos, para a promoção do desenvolvimento e do bem estar da população do Estado da Paraíba	Marco regulatório da gestão hídrica, apresenta inúmeras ações que visam a segurança hídrica, como o uso racional e integrado dos recursos hídricos de maneira sustentável.
Projeto de Segurança Hídrica do Estado da Paraíba	Projeto	2020	Melhoria da segurança hídrica através do aprimoramento da gestão dos recursos hídricos, do aumento da oferta d'água potável no semiárido paraibano e da otimização dos sistemas de abastecimento sanitário da grande João Pessoa.	Segurança hídrica no semiárido paraibano, Saneamento básico e melhoria no sistema de abastecimento;

Fonte: sites oficiais do estado da Paraíba, organizado pelos autores (2022).

O conjunto normativo apresentado no quadro acima oferece orientações para o planejamento e execução de planos regionais de recursos hídricos. A partir desses instrumentos,

é possível perceber que existe um corpus normativo que se destina a regular as condições de uso da água no estado da Paraíba.

Em síntese, os documentos de ordenamento territorial da gestão dos recursos hídricos na Paraíba estão organizados em quatro formatos: 1) normativos, legislação de uso; 2) fiscalização e controle das atividades que estão nas normas vigentes; 3) preventivos, caracterizados pela delimitação das áreas de proteção, pelas avaliações de impacto ambiental e análises de risco e 4) corretivos, que constituem as intervenções diretas de implementações e formação de obras de manutenção e monitoramento da área. O conjunto destes instrumentos normativos demonstra como a gestão dos recursos hídricos é reflexo de diferentes escalas.

Para além do instrumental jurídico que orienta a gestão dos recursos hídricos na Paraíba, faz-se necessário analisar como o uso e a ocupação desse território se estabelece, ou seja, o território enquanto norma. O uso do território acontece por meio de diferentes agentes e atores, a depender da escala geográfica que se observe o fenômeno, por conseguinte, o seu uso considera a dinâmica dos lugares. Nas palavras de Souza (2005, p. 253) “o lugar é o palpável, que recebe os impactos do mundo. O lugar é controlado remotamente pelo mundo”. Logo, no lugar reside a única possibilidade de resistência aos processos, dada a possibilidade de comunicação e construção política.

Nessa perspectiva, as normatizações pelas ações se referem ao território normado, enquanto o território como norma concerne à configuração territorial produtora de normas (ANTAS JUNIOR, 2005). Uma primeira aproximação com a realidade do estado da Paraíba permite levantar questões que colocam em contraposição as normas que orientam o uso dos recursos hídricos e o uso dado a esse recurso. Por exemplo, o acesso a água ainda ocorre de forma heterogênea no estado, consequência dos períodos de estiagem, das estratégias de distribuição e armazenamento.

Não se pretende negar a importância dos instrumentos normativos para a gestão dos recursos hídricos, mas a sua eficácia tem sido restringida, em parte devido a impossibilidade de implantar todas as ações programadas, que pode ser reflexo da escassez de recursos financeiros, humanos e técnicos. Ao discutir sobre a importância de instrumentos jurídicos administrativos e judiciais para a gestão ambiental, Malheiros (2001) ressalta que “são efetivos instrumentos para o desenvolvimento sustentável”. Contudo, as políticas ambientais “dependem de uma vontade política para com as questões ambientais e das disponibilidades sociais, econômicas e técnicas para a sua implantação” (ALMEIDA, 2007, p. 343). Portanto, embora o arcabouço

jurídico estabeleça limites para o uso e ocupação dos recursos hídricos, o jogo de interesses econômicos, políticos e culturais que cercam o acesso a água geram disputas pelo uso desse território e se materializam em sua configuração territorial.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho apresentou apontamentos iniciais sobre questões que perpassam a segurança hídrica na Paraíba, através dos instrumentos normativos foi possível identificar os usos, as responsabilidades e as atribuições de cada ente envolvido na segurança hídrica.

O conteúdo apresentado de forma sucinta demonstra a complexidade que envolve a gestão hídrica no estado, como também, é um exemplo interessante para refletir sobre os vários temas/questões que cercam o acesso a água em quantidade e qualidade adequadas para consumo. Entre eles, como o uso do território reflete e é reflexo de múltiplas escalas, como as determinações horizontais refletem no uso vertical do território, como o lugar apresenta especificidades sociais, ambientais e políticas que precisam ser consideradas ao longo do processo de gestão do território.

Ressalta-se, a necessidade de aprofundamento da discussão normativa e da importância de considerar questões associadas ao uso dos recursos hídricos no estado. Para isso, é necessário ultrapassar o escopo normativo e identificar as questões ambientais, econômicas e sociais associadas ao uso dos recursos hídricos na Paraíba.

REFERÊNCIAS

ANA, AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Conjuntura dos recursos hídricos Brasil 2020**. Brasília: Ana, 2020. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura-completo.23309814.pdf>. Acesso em: 05 março de 2021.

ALMEIDA, F. G. de. **O ordenamento territorial e a geografia física no processo de gestão ambiental**. In: SANTOS, Milton; BECKER, Bertha K. Território, territórios: ensaios sobre o ordenamento do território. Ed. 3. Editora: Lamparina. 2007.

ANTAS JUNIOR, R. M. **Território e regulação: espaço geográfico, fonte material e não formal do direito**. 1. Ed. São Paulo: Associação editorial humanista Fapes, 2005.

BECKER, B. K. **Geografia Política e Gestão do Território no Limiar do Século XXI: uma representação a partir do Brasil**. Revista Brasileira de Geografia. v, 53, p. 169-182, jul/Set, 1991

BECKER, B. K. **Síntese das contribuições da oficina da Política Nacional de Ordenamento Territorial**. In: BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Para pensar uma Política Nacional de Ordenamento Territorial (PNOT). Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional (SDR). – Brasília: MI, 2005.

FREY, K. Políticas Públicas: um debate conceitual e reflexões referentes a Prática da análise de políticas públicas no Brasil. **Revista Planejamento e Políticas Públicas**. n, 21, p.211-259, jun, 2000.

GLOBAL WATER SECURITY Special report. Estados Unidos: **Intelligence Community Assessment**, 2012.

GLOBAL WATER SYSTEM PROJECT (comp.). **RECOMENDAÇÕES PARA A rio+20 - Segurança hídrica para um planeta sob pressão: transição para a sustentabilidade: desafios interligados e soluções**. Rio de Janeiro: Igbp, 2012.

MALHEIROS, T. M. M. **O papel do direito ambiental como instrumento fundamental na transição para o desenvolvimento sustentável**. Monografia vencedora do I Prêmio Dom Bosco de Monografias em Direito Ambiental. Brasília: OAB/DF, 1996.

MELLO-THÉRY, N. A. de. **Território e gestão ambiental na Amazônia: Terras públicas e os dilemas do Estado**. São Paulo: Annablume. 2011.

MELO, M. C. de; JOHNSON, R. M. F. O CONCEITO EMERGENTE DE SEGURANÇA HÍDRICA. **Sustentare**, Três Corações, v. 1, n. 1, p. 72-92, dez. 2017.

PARAÍBA. **Águas do Rio São Francisco: Educação Ambiental para o Uso Sustentável no Estado da Paraíba**. 2017. Disponível: www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2017/10/Águas-do-Rio-São-Francisco-Educação-Ambiental-para-o-uso-sustentável-no-Estado-da-Paraíba.pdf. Acesso em: 1 de setembro de 2022.

PARAÍBA. **Comitês Estaduais de Bacias Hidrográficas**. 2000. Editais | Águas da Paraíba - Portal dos CBHs do Estado da Paraíba. Disponível em: aguasdaparaiba.com.br. Acesso em: 1 de setembro de 2022.

PARAÍBA. **Conselho Estadual de Recursos Hídricos**. 1996. Disponível: A gestão de recursos hídricos na Paraíba — Programa de Consolidação do Pacto Nacional pela Gestão das Águas PROGESTÃO (ana.gov.br). Acesso em: 31 de agosto de 2022.

PARAÍBA. **Constituição Estadual**. 1989. Disponível em: www.al.pb.leg.br/wp-content/uploads/2017/02/Constituição-Estadual-Atualizada-até-a-Emenda-40-de-2015.pdf . Acesso em 1 de setembro de 2022.

PARAÍBA. **Fundo Estadual de Recursos Hídricos**. 2006. Disponível: Fundo Estadual de Recursos Hídricos – AESA. Acesso em 30 de agosto de 2022.

PARAÍBA. **Política Estadual de Recursos Hídricos**. 1996. Disponível em: leiaesa.pb.gov.br/leiaesa/leis/lei_E_11.pdf (aesa.pb.gov.br). Acesso em 30 de agosto de 2022.

PARAÍBA. **Projeto de Segurança Hídrica do Estado da Paraíba**. 2020. Disponível em: Projeto de Segurança Hídrica da Paraíba – PSH-PB — Governo da Paraíba (paraiba.pb.gov.br). Acesso 31 de agosto de 2022.

PRDNE. Plano Regional de Desenvolvimento do Nordeste. **Segurança hídrica e conservação ambiental**. 2019.

UNITED NATIONS. **Water Security and the Global Water Agenda**. 2013. Disponível em: <https://www.unwater.org/publications/water-security-global-water-agenda/>. Acesso em: 05 março de 2021.

UNITED NATIONS. **What is Water Security? Infographic**. 2013. Disponível em: <https://www.unwater.org/publications/water-security-infographic/>. Acesso em: 05 março de 2021.

CAPÍTULO 17

PRODUTOS E VOLUMES TRANSPORTADOS NAS HIDROVIAS EUROPEIAS: SUAS PRINCIPAIS ROTAS

Império Lombardi
Itamar Bezerra dos Santos
João Victor Bueno
Marco Aurélio da Silva
Moacir de Freitas Junior
Robson Elias Bueno

RESUMO

As hidrovias se configuram como sendo as redes de navegação utilizadas para o transporte de mercadorias, pessoas e serviços em rios e lagos. São utilizadas para diversos tipos de transporte, especialmente para o transporte de produtos a granel. Demonstram como principal vantagem os baixos custos, com destaque para movimentação de cargas pesadas em longas distâncias. O presente artigo, escrito com base na pesquisa qualitativa e na revisão de literatura busca apresentar as características dos produtos e volumes transportados nas hidrovias europeias. Como objetivos específicos espera-se conceituar a hidrovia e destacar sua importância, apresentar as principais rotas de uso na Europa e mostrar a estrutura logística desse processo. Na Europa o transporte hidroviário foi reforçado por uma política logística pan-européias ao integrar conceitos tradicionais de transporte de mercadorias. Hoje a adoção do modelo das hidrovias fluviais tem sido uma resposta eficaz para o trânsito nas grandes cidades e, sobretudo, na busca pela eficiência na gestão e planejamento da mobilidade urbana e territorial integrando, assim, diversos modais de transporte que são adotados em regiões centrais diante da demanda de circulação de pessoas e, especialmente, de mercadorias e outras cargas.

PALAVRAS-CHAVE: Hidrovias europeias. Transporte. Cargas.

1. INTRODUÇÃO

As questões relacionadas aos oceanos assumem importância central para a vida na Terra. O entendimento da estrutura e dos processos oceanográficos, bem como de suas interações com a atmosfera, biosfera e continente é necessário para o desenvolvimento dos países. O mar é fonte de alimento, emprego, energia, lazer e divisas para a nação costeira. Os recursos do mar devem ser utilizados de forma sustentável, com base em conhecimentos científicos e desenvolvimento tecnológico. Ao mesmo tempo, os oceanos sofrem pressões e desafios, tais como a poluição marinha, a ocupação desordenada da zona costeira, os impactos decorrentes das mudanças climáticas - com ênfase para a elevação do nível do mar, as alterações na circulação oceânica termohalina, a acidificação dos oceanos, as alterações na abundância das espécies e a perda de biodiversidade, todas essas, consideradas como prioridades científicas na área das Ciências do Mar. É fundamental, portanto, promover a pesquisa científica e tecnológica multidisciplinar dos oceanos e suas interações com a atmosfera e continentes, o que implica

dispor de infraestrutura operacional e administrativa adequada, para a consecução dessas atividades, além dos recursos humanos especializados.

Mesmo antes da invenção dos barcos, barcaças, navios, balsas, dentre outros, as pessoas usavam os rios como meio de transporte, atravessando em troncos. O termo hidrovia é uma combinação dos termos “hidro”, que se refere à água, e “via”, que se refere a rotas e caminhos. As hidrovias compõem a história de antigas civilizações que já utilizavam rotas por rios e mares para transportar mercadorias e pessoas. Até aparecerem os primeiros navios, o transbordo era realizado em largos troncos de árvores. Hoje, os avanços na cartografia e na tecnologia deram origem a diversos modelos de embarcações, incluindo navios, transatlânticos e barcos, que atravessam rios e oceanos.

O transporte aquaviário tem a vantagem de poder transportar grandes quantidades de carga por longas distâncias. Amplamente utilizado no comércio nacional e internacional para o turismo e transporte de passageiros. Também é considerado o modo de transporte com menor impacto ambiental devido aos seus baixos níveis de poluição em comparação com outros modos de transporte.

O conhecimento do ambiente marinho ainda é limitado, já que, diferentemente dos ambientes continentais emersos, que têm os seus componentes visíveis, o mar mostra apenas as suas interfaces água-costa e água-atmosfera, compreendendo uma superfície aparentemente monótona. No entanto, é abaixo da superfície que ocorrem processos complexos, que condicionam em grande parte a vida nos oceanos e no planeta. Para o adequado entendimento dos processos oceanográficos, são necessárias informações sobre variáveis físicas, químicas e geológicas, tais como temperatura, salinidade, luz, gases e nutrientes dissolvidos, partículas orgânicas e inorgânicas em suspensão, entre outras, obtidas com o auxílio de uma vasta gama de instrumentos e técnicas (CALAZANS, 2011).

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Hidrovias

As hidrovias se configuram como redes de navegação utilizadas para o transporte de mercadorias, pessoas e serviços, ocorrendo em rios e lagos. São utilizadas para diversos tipos de transporte, especialmente o comércio a granel. Pode-se dizer que a principal vantagem desse tipo de meio de transporte é a economia, com destaque para movimentação de cargas pesadas em longas distâncias. Sobre os benefícios desse meio de transporte, ainda se salienta que:

[...]. As vantagens do modal hidroviário se fundamentam na existência de zonas produtoras na área de influência da hidrovia. Em termos de custos, produtos agrícolas e minérios tendem a obter as maiores vantagens relativas, devido a seu baixo custo relativo no uso do transporte hidroviário (SEABRA *et al.*, 2013. pág. 1).

Segundo Silva (2014) define que o transporte hidroviário (também pode ser chamado de aquaviário) é aquele em que se utiliza a água para a locomoção do meio de transporte, pode ser subdividido entre diferentes tipos de acordo com o corpo de água que ele utiliza: Marítimo é o transporte que acontece sobre mares e oceanos, onde se utilizam navios para o transporte de cargas, podendo ser cabotagem (onde há transporte entre os portos do mesmo país) ou longo curso (quando o transporte é feito entre países ou continentes); Fluvial é o transporte que se utiliza os rios para o transporte de cargas, geralmente feitos através de barcos; Lacustre é quando o transporte é feito através de lagos e lagoas.

2.2. Cadeia logística portuária

Cadeia logística portuária engloba aos agentes que estão envolvidos nas atividades de produção, logística, transporte e consumo na atividade de exportação e importação, incluindo atores intermediários e terceirizados (HERZ *et al.*, 2014). Assim, devido à atuação de diferentes agentes na cadeia logística portuária, sua forma pode oferecer múltiplas opções de distribuição, tornando-se mais complexa do que uma cadeia de suprimento da indústria manufatureira, por exemplo (BAALEN; ZUIDWIJK; NUNEN, 2008; VENKATESH *et al.*, 2020). Além disso, os portos deixaram de ser simples pontos de carregamento e descarregamento de cargas, tornando-se locais essenciais que oferecem serviços de gerenciamento e coordenação financeira, de cargas e de informação, o que agrega valor ao produto (BAALEN *et al.*, 2008; SEETHAMSETTY; OGOTI, 2020), como estocagem, consolidação, de consolidação, empacotamento, transporte multimodal, entre outros (VANKATESH *et al.*, 2020; SEETHAMSETTY *et al.*, 2020). Para auxiliar nestas novas atividades desempenhadas pelos portos, agentes como depósitos, centros de distribuição, terminais de transbordo, operadores de transporte, logística e agentes de carga passaram a atuar na cadeia logística (BAALEN *et al.*, 2008; SEETHAMSETTY *et al.*, 2020). Os portos, por serem considerados hubs de uma cadeia logística global e oferecerem a possibilidade de conexão intercontinental de fluxo de carga até localidades distribuídas e mais regionais (BAALEN *et al.*, 2008; SEETHAMSETTY *et al.*, 2020), necessitam do auxílio de diversos agentes e atuação de intermediários e agências de serviços, os quais auxiliam a realização das atividades da cadeia logística portuária (BAALEN *et al.*, 2008) e, desta forma, cada transação pode assumir uma forma diferente de distribuição (BAALEN *et al.*, 2008). 29 Assim, estes agentes incluem autoridades regulatórias de transporte

(ferroviária, rodoviária e aquaviária) e governamentais, transportadoras, companhias de navegação (1), operadores de terminais (2), companhias terceirizadas de logística (3), Depósitos (4), ICTs (5), além dos importadores (6) e exportadores (7), sendo que estes dois últimos podem ser compradores e vendedores diretos ou intermediários, como Non Vessel Operating Common Carrier (NVOCC), agente de carga, ou uma trade company, atuando somente no transporte marítimo ou no fluxo todo de carga (CLOTT, 2000; DE LANGEN, 2006; HERZ *et al.*, 2014; HIDALGO *et al.*, 2017; KISTENMACHER; ROCHA, 2008; RAN *et al.*, 2010; SEETHAMSETTY *et al.*, 2020; VANKATESH *et al.*, 2020; ZAIN *et al.*, 2013). A Figura 1 foi baseada em Baalen *et al.*, (2008) e representa o fluxo de interação destes agentes na cadeia logística portuária.

Figura 1: Fluxo de Interação.



Fonte: Adaptado de Baalen *et al.* (2008).

A Navegação de interior no mundo Segundo o Ministério dos Transportes (2015), o transporte hidroviário é o modo de transporte utilizado nas hidrovias para transporte de pessoas e mercadorias. As hidrovias de interior podem ser rios, lagos e lagoas navegáveis que receberam algum tipo de melhoria como sinalização e balizamento para que um determinado tipo de embarcação possa trafegar com segurança por essa via. As hidrovias são de grande importância, visto que, por meio delas, consegue-se transportar grandes quantidades de mercadoria a grandes distâncias. Nelas são transportados produtos como: minérios, cascalhos, areia, carvão, ferro, grãos e outros produtos não perecíveis (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2015).

Segundo Fernandes *et al.*, (2005), o potencial de vias navegáveis disponível no mundo é de aproximadamente 450 mil km. Em extensão, as hidrovias brasileiras classificam-se na terceira posição entre as maiores do mundo, como é observado na Figura 2. Figura 1: Extensão Total de Hidrovias no Mundo (em km) Fonte: Vianna (2007) e CNT (2017). Os Estados Unidos

possuem uma vasta rede hidroviária interior com 41.009 km de vias navegáveis, 608 barragens e 257 eclusas em 212 locais diferentes, destacando-se os maiores: Missouri (3.767 km), Mississippi (3.734 km) e Colorado (2.334 km). As hidrovias são responsáveis por 43% do movimento dos 400 principais portos americanos, desempenhando papel fundamental no transporte eficiente de grãos, oleaginosas, fertilizantes e carvão nos EUA (SANTOS, 2020). A Europa possui 26 mil km de hidrovias, sendo 40% destas formadas graças a interligações e canais. Dentre os países que mais usam o transporte hidroviário na Europa Ocidental, destacam-se a França, com 8.500 km de hidrovias, dos quais 1.800 km de grande gabarito, a Alemanha, com 7.467 km, a Holanda, com 6.183 km e a Bélgica, com 2043 km. Cerca de 11.500 embarcações registradas percorrem as hidrovias da Europa, de balsas graneleiras e comboios a navios de passageiros e de lazer, administradas por 7.500 empresas ligadas à navegação interior, com cerca de 30.500 pessoas empregadas (SANTOS, 2017; VIANNA, 2007; CNT, 2017). O Reno é um rio com 1.320km de comprimento, sendo 884 km a navegabilidade da hidrovia, da Basiléia, na Suíça, até Rotterdam, na Holanda. Atravessa ou acompanha seis países: Suíça, Áustria, Liechtenstein, Alemanha, França e os Países Baixos. O porto de Rotterdam é o maior complexo portuário da Europa, localizado no delta do Reno e Mosa, na Holanda, recebendo por ano cerca de 30 mil navios e 200 mil barcaças (SANTOS, 2017). A Alemanha destaca-se no transporte hidroviário na Europa, especialmente no transporte de cargas, sendo indispensável para a economia local. Devido ao relevo de planícies em torno das mais elevadas montanhas, favorece à existência de grande quantidade de rios: são 7,5 mil km de vias navegáveis, sendo possível atravessar toda a Alemanha (CITAQ, 2013). A Alemanha ainda possui o “Wasserstrassenkreuz”, conforme Figura 2, que é o mais longo 'viaduto' da Europa, com 918 m de extensão. Ele conecta a parte leste do Mittellandkanal com o trecho oeste do Elba-Havel-Kanal. A obra é aberta ao tráfego de mercadorias durante todo o ano, consiste numa ponte principal, com 228 m de extensão, sendo subdividida em 3 trechos e um canal com 690m. Conforme figura 2, apresentada.

Figura 2: Wasserstrassenkreuz.



Fonte: CITAq (2013).

Aproximadamente metade da malha hidroviária Europeia tem condições de receber embarcações com mais de 1.000 toneladas. Outra importante característica do sistema de transporte hidroviário europeu apontado pelo INE (2006) é a sua abrangência, ligando as principais cidades, centros de comércio, indústria, navegação e portos marítimos.

3. METODOLOGIA

O artigo foi escrito por meio da revisão bibliográfica, que contou especialmente com artigos retirados de bases de dados como *Google Acadêmico* e *Scielo*, além de sites disponíveis no próprio Google, encontrados por meio de palavras-chave, como: hidrovias europeias; hidrovias na Europa; e Hidrografia na Europa. O processo de coleta e análise das informações foi pautado evolutivamente em uma linha de pensamento que considera três focos de compreensão: i - o referencial teórico que delimita as redes hidroviárias interiores em face de indicadores econômicos regionais; ii - a análise de desempenho com resultados obtidos por meio do desenvolvimento regional mediante ao binômio expansão das hidrovias interiores X crescimento econômico; iii - o contexto histórico-territorial das obras de infraestrutura de transporte.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No entanto, também demonstra algumas desvantagens, como demora no embarque de mercadorias e no próprio tempo de transporte.

A Europa é o centro do tráfego hidroviário mundial. Este continente possui inúmeras vias navegáveis que fazem parte do comércio regional. No Brasil, por outro lado, as hidrovias raramente são utilizadas como meio de transporte.

A utilização deste tipo de transporte na Europa remonta a tempos antigos, quando grande parte do comércio era realizado por meio de rios e canais de drenagem. As vias navegáveis do Reno e do Danúbio são consideradas as vias navegáveis mais importantes.

Alguns países, como a Holanda, possuem extensas redes de hidrovias em nível regional. Esses exemplos fazem da Europa o centro mais importante do tráfego hidroviário. Outros países também veem esse transporte como uma alternativa às suas próprias redes logísticas. Por exemplo, os Estados Unidos possuem grandes hidrovias como San Lourenço e Mississippi-Missouri-Ohio, sendo esta última a mais importante para os fluxos de produção agrícola americana. A hidrovia mais importante da China é o rio Yangtze, que os chineses chamam de hidrovia dourada. Ambos os países se configuram como maiores investidores em hidrovias atualmente.

Segundo dados do Instituto Nacional de Engenharia (2018), na atualidade, as hidroviias respondem, por cerca de 13% do transporte de cargas nacionais, enquanto em certas regiões da Europa alcança em torno de 40%. As localidades que optaram por sistemas de transporte a custos elevados e não usaram seus rios para a navegação comercial demonstram, geralmente, baixos desempenhos econômicos.

4.2. As hidroviias na Europa: Suas rotas e principais volumes

Nos últimos vinte anos, a Europa atualizou com sucesso os novos mercados hidroviários, inovando as vias navegáveis interiores e transportando produtos de elevado valor agregado em contêineres. O sucesso deste novo segmento no continente resultou em taxas de crescimento anual de dois dígitos. A expansão do transporte fracionado em contêineres e a viabilidade do transporte fluvial de curta distância possibilitaram um grande potencial para soluções inovadoras de distribuição para melhor atender às necessidades logísticas modernas.

Nesse sentido, Pereira; Wofll e Meza (2016) destacam que...

Na União Europeia (EU) o transporte está baseado em três principais modais: rodoviário, ferroviário e hidroviário. O transporte aéreo, por ter alto custo quando comparado aos demais, tem menor representatividade. Cada um destes apresenta para os e contras, sendo necessária uma análise prévia para cada caso, considerando o custo, a tonelagem transportada, tempo em trânsito, dentre outros fatores (Pereira *et al.*, 2016, p. 2).

Essa mudança deu à Europa um meio de transporte que pode movimentar mais cargas a um custo muito menor do que o feito anteriormente. Problemas de mobilidade em grandes centros foram resolvidos. Os portos foram aliviados, houve redução de tempo, e as viagens de caminhão passaram a ser mais rápidas.

Também foi possível transportar cargas de elevado valor agregado, convencionalmente transportadas por caminhão em curtas distâncias, para contêineres.

Pode-se dizer, que as vias navegáveis europeias são caracterizadas por numerosos rios. Apesar de sua alta altitude, os relevos são marcados por áreas abaixo de 200 m acima do nível do mar. Tais áreas ocupam dois terços de seu território e consistem principalmente em planícies fluviais. As regiões de maior altitude da Europa, como os Alpes, os Pirineus e o Planalto da Rússia Central, servem como centros essenciais de distribuição de água.

Em geral, as capitais europeias são banhadas por grandes rios como o Tamisa de Londres, o Sena em Paris o Spree em Berlim, o Danúbio de Viena, e o Tejo de Lisboa. Estes têm sido considerados pela história como meio de transporte relevantes, facilitando o comércio e a elevação industrial. A parte norte do continente engloba lagos importantes, principalmente

de origem glacial. Também tem uma intrincada rede de vias navegáveis, com elevados rios, como o Volga da Rússia e o Danúbio, conectando outros países, com a Alemanha, Áustria, República Tcheca, Croácia, Hungria, Sérvia, Romênia, Bulgária e Ucrânia. O Volga é o rio mais longo do continente, iniciando no Lago Ladoga e perpassando o oeste da Rússia, até o chamado Mar de Escalas.

Coy (2016) destaca que:

[...] a dinâmica do desenvolvimento de uma cidade tem muito a ver com as funções do seu rio, a importância fluvial revela-se, geralmente, na organização espacial da cidade. Pontes, cais, embarcadouros, portos fluviais formavam, durante séculos, em muitas cidades europeias – e continuam formando em muitos casos - os pontos estratégicos, os espaços de alta centralidade e, finalmente os lugares emblemáticos na cidade. O rio torna-se parte integrante da paisagem urbana, assim como a cidade pertence imprescindivelmente à paisagem fluvial. Desta maneira, são os rios que atribuem uma identidade específica a muitas cidades: a Tâmesa a Londres, o Sena a Paris, o Reno a Colônia, a Elbe a Dresden, o Danúbio a Budapest, a Moldau a Praga (COY, 2016, p. 2).

O transporte fluvial de mercadorias pode levar mais de 40% de toda a carga em algumas partes da Europa. Ressalta-se também, o aumento do volume de transporte durante os anos de 1997 e 2004 que alcançou mais de 50% na Bélgica e 35% em França. O transporte fluvial é o melhor setor em termos de custos, especialmente poluição e segurança.

Mandriano (2018) destaca que a Europa central é onde se localizam as principais hidrovias, assim como mostra a Figura 2. Salienta que o continente possui mais de 10.000 km de hidrovias cobertas por *Inland ENC* e mais de 11.000 embarcações equipadas com *Inland ECDIS* certificados por normas próprias.

Figura 2: Europa Central e principais hidrovias.



Fonte: IEHG (2017).

Lima (2021) ressalta o valor das hidrovias na Europa, dando destaque especial para a Bélgica, que na atualidade, a adoção do modelo das hidrovias fluviais tem sido uma resposta eficaz para o trânsito nas grandes cidades e, sobretudo, na busca pela eficiência na gestão e planejamento da mobilidade urbana e territorial integrando, assim, vários modais de transporte em regiões centrais face a demanda de circulação de pessoas e, principalmente, de mercadorias e outras cargas. A Bélgica, escopo temático deste estudo, é conhecida como o “Eixo Logístico da Europa”, e, por sua vez, é um dos países mais industrializados do continente, com altas taxas de inovação tecnológica, bem como de desempenho financeiro e desenvolvimento social

A maior travessia fluvial da Europa perto de Magdeburg permite o transporte sem impedimentos de oeste para leste, realizando um antigo sonho alemão. O trevo hidroviário tem a estrutura de um aqueduto, projetado para permitir a travessia de grandes embarcações.

Dessa forma, pode-se dizer que, o centro da maior travessia fluvial da Europa é um colosso de ferro e concreto no rio Elba, ao norte de Magdeburg. A ponte em forma de casco e cheia de água liga as duas vias navegáveis do Mittelland e do Elbe Havel. Até sua inauguração em 2003, os navios tinham que dar uma volta de 12 quilômetros ao seu redor, passando por eclusas desatualizadas, resultando em perda de tempo. A ponte permite que navios com cargas úteis de até 1.350 toneladas se movam sem problemas das áreas de Weser e Ruhr, no Oeste, para Berlim e vice-versa.

A ponte do canal de 918 metros de comprimento é considerada uma obra-prima superlativa e de engenharia, usando 68.000 metros cúbicos de concreto e 24.000 toneladas de aço. O canal, com 34 metros de largura e 4,25 metros de profundidade, contempla 132 mil toneladas de água.

Sua construção perdurou 80 anos, e gerou um gasto de cerca de 500 milhões de euros. Os engenheiros originalmente planejaram conectar as duas pistas, mas a obra foi adiada em virtude da Segunda Guerra Mundial. Após a Guerra Fria o projeto foi suspenso, sem previsão de retorno pelo governo da Alemanha Oriental. Todavia, a obra foi concluída, e a revolucionária conexão do canal significa bilhões de dólares em economias anuais para a Alemanha, já que o porto interior de Berlim está conectado por esta rota ao rio mais importante da Europa, o Reno.

A presença de complexas redes hidroviárias na Europa contribui para a circulação de pessoas, matérias-primas e produtos entre os continentes, facilitando o comércio com diferentes partes do globo. Um dos exemplos mais importantes é o porto de Rotterdam, na Holanda, um dos portos mais movimentados do mundo, que lança mão das hidrovias do Ruhr e do Reno para

transportar seus produtos. O maior parque industrial da Europa na Alemanha também usa a hidrovia do Ruhr para transportar seus produtos.

Priorizar o transporte aquaviário reduz os custos em relação ao transporte rodoviário, especialmente como no Brasil. Em geral, menor número de caminhões nas estradas gera um menor impacto ambiental. Os rios europeus, principalmente nas regiões alpinas e dos Pirineus, alimentam centros urbanos onde os relevos formam poderosas cachoeiras e são usados para gerar energia através da instalação de usinas hidrelétricas. Estes, banham muitas das cidades mais importantes da Europa: o Sena em Paris, o Tamisa em Londres, o Danúbio em Viena, Belgrado e Budapeste, o Tibre em Roma, o Wisla em Varsóvia, o Spree em Berlim e o Tejo em Lisboa. Entre os rios de destaque, demonstra-se o Volga, o maior rio da Europa com 3.688 km de extensão. O Reno, com o maior fluxo de mercadorias e matérias-primas do continente, e o Danúbio, que perpassa diversos países europeus.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise e síntese realizada por meio da revisão de literatura e do estudo bibliográfico, é possível concluir que o transporte aquaviário demonstra a significativa vantagem de poder transportar elevadas quantidades de carga por longas distâncias. Isto se deve ao fato de ser amplamente utilizado no comércio nacional e internacional, turismo e transporte de passageiros. Também é considerado o modo de transporte com menor impacto ambiental devido aos seus baixos níveis de poluição em comparação com outros modos de transporte.

Observou-se que o transporte fluvial de mercadorias pode levar mais de 40% de toda a carga em algumas partes da Europa. Ressalta-se também, o aumento do volume de transporte (em toneladas-quilômetro) durante os anos de 1997 e 2004 alcançou mais de 50% na Bélgica e 35% em França. Destaca-se que a Europa central é onde se localizam as principais hidrovias. Compreende-se, observando a dinâmica do continente europeu, que na atualidade, a adoção do modelo das hidrovias fluviais tem sido uma resposta eficaz para o trânsito nas grandes cidades e, sobretudo, na busca pela eficiência na gestão e planejamento da mobilidade urbana e territorial integrando, assim, diversos modais de transporte que são adotados em regiões centrais diante da demanda de circulação de pessoas e, especialmente, de mercadorias e outras cargas.

REFERÊNCIAS

CALAZANS, D. (Org). **Estudos Oceanográficos: do instrumental ao prático**. Pelotas: Ed. Textos. 2011.

COY, M. A interação rio-cidade e a revitalização urbana: experiências europeias e perspectivas para a América Latina. **Confin**, nº 18, 2013. Disponível em: <<https://journals.openedition.org/confin/8384#quotation>>. Acesso em 30 ago. 2022.

HERZ, N.; FLÄMIG, H. **Understanding supply chain management concepts in the context of port logistics: an explanatory framework**. *Transport*, Lituânia v.29, n.4, p.376-385, dez. 2014.

INSTITUTO DE ENGENHARIAS. **A hidrovia como vetor de desenvolvimento e de integração multimodal do Brasil e da América do Sul**. São Paulo, 2018, p. 2-16. Disponível em: <<https://www.institutodeengenharia.org.br/site/wp-content/uploads/2018/10/Hidrovias.pdf>>. Acesso em 30 ago. 2022.

INTERNATIONAL HYDROGRAPHIC ORGANIZATION. (2017). **About the IHO**. Disponível em: <https://iho.int/>. Acesso em 30 ago. 2022.

LIMA, S. J. de. **Gestão do transporte hidroviário interior na região da Flandres / Bélgica perante o desenvolvimento regional: perspectivas para as metrópoles fluviais brasileiras**. Congresso brasileiro de administração online – COBRADIMIN. 16 a 18 ago. 2021, p. 1-6. Disponível em: <<https://cdn.congresse.me/7bm1zxor512ggamazc3bvxaj9c1q>>. Acesso em 30 ago. 2022.

MANDARINO, F. **Dinâmica sedimentar e morfológica fluvial: proposta de especificação de tema nas Inland ENC do Rio Paraguai**. Tese (Doutorado). Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2018. 106 f. Disponível em: <<https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/25092/44%20-%20TESE%20-%20F1%C3%A1via%20Mandarino%202018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em 30 ago. 2022.

PEREIRA, D. da S.; WOLFF, M. G. de C.; MEZA, L. A. M. Eco eficiência no setor de transportes de países influentes da União Europeia. **XXX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET**, Rio de Janeiro, 16 a 18 de novembro de 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Deivison_pereira/publication/311675439_ECOEFICIENCIA_NO_SETOR_DE_TRANSPORTES_DE_PAISES_INFLUENTES_DA_UNIAO_EUROPEIA/links/586a699208ae329d62101a3e/ECOEFICIENCIA-NO-SETOR-DE-TRANSPORTES-DE-PAISES-INFLUENTES-DA-UNIAO-EUROPEIA.pdf> Acesso em 30 ago. 2022.

SANTOS, E. B.; ABRASIL, A. C. de M. Comparação de emissão de CO₂ entre os modos rodoviário e hidroviário: ensaio sobre o corredor norte/eixo Tocantins. In: **32º CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE DA ANPET, Anais [...]** Gramado, 2018. Disponível em: http://www.anpet.org.br/anais32/documentos/2018/Aspectos%20Economicos%20Sociais%20Politicos%20e%20Ambientais%20do%20Transporte/Transporte%20e%20Meio%20Ambiente%20I/5_81_AC.pdf. Acesso em: 10 ago. 2021.

SEETHAMSETTY, S. R.; OGOTI, A. S. Significant role of port operations in supply chain management: a global study. **International Journal of Advanced Science and Technology**, v.29, n.6, p.3705-3710, 2020.

SEABRA, F. S.; VAZ, G. S.; BERLANDA, V. L. S. Integração regional: o papel estratégico da hidrovía Paraná Paraguai no desenvolvimento socioeconômico e político da região. **4º Encontro Nacional da Associação Brasileira de Relações Internacionais**. Belo Horizonte, 22 a 26 de julho de 2013. Disponível em: <http://www.seminario2016.abri.org.br/resources/download/1379965613_ARQUIVO_INTEGRACAOREGIONALOPAPELESTRATEGICODAHIDROVIAPARANA-PARAGUAINODESENVOLVIMENTOSOCIOECONOMICOEPOITICODAREGIAO-FernandoSeabra.pdf>. Acesso em 30 ago. 2022.

SILVA, W. S. **Transporte Aquaviário**. 2014. Disponível em: <https://www.infoescola.com/geografia/transporte-aquaviario/>. Acesso: 05 mar. 2022.

www.editorapublicar.com.br
contato@editorapublicar.com.br
@epublicar
facebook.com.br/epublicar

**Energias renováveis e
valorização de resíduos:**

O CAMINHO PARA SUSTENTABILIDADE

2

Milson dos Santos Barbosa
Luma Mirely de Souza Brandão
Danyelle Andrade Mota
Roger Goulart Mello
Organizadores



2022

www.editorapublicar.com.br
contato@editorapublicar.com.br
@epublicar
facebook.com.br/epublicar

**Energias renováveis e
valorização de resíduos:**

**O CAMINHO PARA
SUSTENTABILIDADE**

2

Milson dos Santos Barbosa
Luma Mirely de Souza Brandão
Danyelle Andrade Mota
Roger Goulart Mello
Organizadores



2022