

AGENDA DA SUSTENTABILIDADE



NO BRASIL:

Conhecimentos teóricos, metodológicos e empíricos

Clécio Danilo Dias da Silva
Milson dos Santos Barbosa
Danyelle Andrade Mota
(Organizadores)



AGENDA DA SUSTENTABILIDADE



NO BRASIL:

Conhecimentos teóricos, metodológicos e empíricos

Clécio Danilo Dias da Silva
Milson dos Santos Barbosa
Danyelle Andrade Mota
(Organizadores)



Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Assistentes editoriais

Natalia Oliveira

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

Imagens da capa

iStock

Edição de arte

Luiza Alves Batista

Revisão

Os autores

2021 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2021 Os autores

Copyright da Edição © 2021 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Profª Drª Andréa Cristina Marques de Araújo – Universidade Fernando Pessoa

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Arnaldo Oliveira Souza Júnior – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Crisóstomo Lima do Nascimento – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Daniel Richard Sant’Ana – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Dilma Antunes Silva – Universidade Federal de São Paulo
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros
Prof. Dr. Humberto Costa – Universidade Federal do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. José Luis Montesillo-Cedillo – Universidad Autónoma del Estado de México
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Miguel Rodrigues Netto – Universidade do Estado de Mato Grosso
Prof. Dr. Pablo Ricardo de Lima Falcão – Universidade de Pernambuco
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Ribeiro Simon Cavalcanti – Universidade Católica do Salvador
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Daniela Reis Joaquim de Freitas – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Débora Luana Ribeiro Pessoa – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elizabeth Cordeiro Fernandes – Faculdade Integrada Medicina
Profª Drª Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Profª Drª Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Fernanda Miguel de Andrade – Universidade Federal de Pernambuco
Prof. Dr. Fernando Mendes – Instituto Politécnico de Coimbra – Escola Superior de Saúde de Coimbra
Profª Drª Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia
Profª Drª Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Jefferson Thiago Souza – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Maria Tatiane Gonçalves Sá – Universidade do Estado do Pará
Profª Drª Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federacão do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados
Profª Drª Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino
Profª Drª Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Vanessa da Fontoura Custódio Monteiro – Universidade do Vale do Sapucaí
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Welma Emidio da Silva – Universidade Federal Rural de Pernambuco

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Profª Drª Ana Grasielle Dionísio Corrêa – Universidade Presbiteriana Mackenzie
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Érica de Melo Azevedo – Instituto Federal do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Profª Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann Junior – Universidade Federal de Juiz de Fora
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Priscila Tessmer Scaglioni – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Sidney Gonçalo de Lima – Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Linguística, Letras e Artes

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro
Profª Drª Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Profª Drª Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará
Profª Drª Edna Alencar da Silva Rivera – Instituto Federal de São Paulo
Profª Drª Fernanda Tonelli – Instituto Federal de São Paulo,
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Paraná
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

Agenda da sustentabilidade no Brasil: conhecimentos teóricos, metodológicos e empíricos

Diagramação: Maria Alice Pinheiro
Correção: Mariane Aparecida Freitas
Indexação: Gabriel Motomu Teshima
Revisão: Os autores
Organizadores: Clécio Danilo Dias da Silva
Milson dos Santos Barbosa
Danyelle Andrade Mota

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A265 Agenda da sustentabilidade no Brasil: conhecimentos teóricos, metodológicos e empíricos / Organizadores Clécio Danilo Dias da Silva, Milson dos Santos Barbosa, Danyelle Andrade Mota, et al. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2021.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-5983-425-9
DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.259212308>

1. Sustentabilidade. I. Silva, Clécio Danilo Dias da (Organizador). II. Barbosa, Milson dos Santos (Organizador). III. Mota, Danyelle Andrade (Organizadora). IV. Título.
CDD 363.7

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DOS AUTORES

Os autores desta obra: 1. Atestam não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao artigo científico publicado; 2. Declaram que participaram ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certificam que os artigos científicos publicados estão completamente isentos de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirmam a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhecem terem informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autorizam a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access, desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

APRESENTAÇÃO

Em um mundo ameaçado por problemas ambientais, impulsionar uma economia mais respeitosa com o meio ambiente não é uma opção e sim uma necessidade. Assim, perante das inúmeras consequências ambientais, as organizações, governos e comunidades científicas estão em constante busca de uma solução adequada. Isso faz com que as temáticas Meio Ambiente e Sustentabilidade tornem-se global. Diante disto, a Organização das Nações Unidas (ONU) em 1972 realizou a primeira Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, conhecida como Conferência de Estocolmo, na capital da Suécia. Em consequência disto, em 1983 foi criada a Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, com propostas mundiais na área ambiental para a sobrevivência da espécie humana e a biodiversidade.

No ano de 2000, por meio da Declaração do Milênio das Nações Unidas, surgiram os “Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM)”, os quais foram adotados pelos 191 estados membros, inclusive o Brasil. Os ODM tinham como objetivo dar continuidade as ações em prol do desenvolvimento sustentável. A partir do legado dos ODM, em 2015 os países signatários da ONU, assumiram o compromisso com os novos objetivos do milênio para o Desenvolvimento Sustentável, estabelecendo 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) e 169 metas a serem atingidos até o ano de 2030. Tratam-se de objetivos e metas claras, para que todos os países adotem de acordo com suas próprias prioridades uma parceria global que orienta as escolhas necessárias para melhorar a vida das pessoas, no presente e no futuro.

Nesse contexto, têm-se fomentado em diversos países, inclusive no Brasil, a proposição de aparatos legislativos ambientais e investimentos em ações e pesquisas em empresas e instituições de ensino em prol da Agenda da Sustentabilidade. Até o momento, o Brasil apresentou avanços consideráveis e cumpriu grande parte das metas estabelecidas, por exemplo, a melhorias nas matrizes energéticas e busca de alternativas aos combustíveis fósseis, o que pode facilitar o cumprimento desses objetivos até 2030.

Diante deste cenário, este e-book “Agenda da Sustentabilidade no Brasil: Conhecimentos teóricos, metodológicos e empíricos” foi produzido como um esforço para impulsionar as ações em direção à agenda da Sustentabilidade 2030, especialmente no Brasil que ainda carece de conhecimento e experiências com soluções práticas de Sustentabilidade para os desafios globais. O e-book contém um conjunto de com 17 artigos que agrupam estudos/pesquisas de cunho nacional envolvendo questões relacionadas ao desenvolvimento sustentável sob diferentes perspectivas e para diversos públicos. Portanto, são apresentados projetos práticos, experiências de pesquisas empíricas e métodos de ensino implementados no Brasil, que certamente contribuirão para o fomento da Sustentabilidade.

Por fim, agradecemos aos diversos pesquisadores por todo comprometimento para atender demandas acadêmicas de estudantes, professores e da sociedade em geral, bem como, destacamos o papel da Atena Editora, na divulgação científica dos estudos produzidos, os quais são de acesso livre e gratuito, contribuindo assim com a difusão do conhecimento.

Desejamos a todos uma boa leitura!

Clécio Danilo Dias da Silva
Milson dos Santos Barbosa
Danyelle Andrade Mota

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1..... 1

ECONOMIA CIRCULAR: PRIMÓRDIOS E DESAFIOS NOS PAÍSES DESENVOLVIDOS E EM DESENVOLVIMENTO

Omar Ouro-Salim

Patrícia Guarnieri

Ayawovi Djidjogbe Fanho

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2592123081>


CAPÍTULO 2..... 20

SUSTENTABILIDADE DE EVENTOS E O ENVOLVIMENTO DOS STAKEHOLDERS – CASO DE ESTUDO FEIRA DE LEIRIA

Sílvia Maria Carriço dos Santos Monteiro

Didier Rosa

Maria Lizete Lopes Heleno

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2592123082>

CAPÍTULO 3..... 33

ELECTROMAGNETIC SOLAR RADIATION CONVERSION USING RECTIFYING ANTENNAS RECTENNA: A CRITERION FOR TYPOLOGY OPTIMIZATION OF BOW-TIE, DIPOLE, SPIRAL, LOG-PERIODIC AND MEANDER

Nelmo Cyriaco da Silva

Luiz Carlos Kretly

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2592123083>

CAPÍTULO 4..... 40

AVALIAÇÃO DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA PARA APLICAÇÃO DE CÉLULAS MULTIJUNÇÃO

Thiago Antonio Paiva da Silva


Patrícia Romeiro da Silva Jota

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2592123084>

CAPÍTULO 5..... 52

ESTUDO DA VIABILIDADE DE CONVERSÃO DE ENERGIA MECÂNICA CORPORAL EM ENERGIA ELÉTRICA: NANOGERADORES

Pedro da Silva Farias

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2592123085>

CAPÍTULO 6..... 62

AVALIAÇÃO DAS CONSEQUÊNCIAS DA INSERÇÃO DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA DISTRIBUÍDA DENTRO DAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO

Gabriel Delian Silva Valadares

Milthon Serna Silva

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2592123086>

CAPÍTULO 7..... 72

ANÁLISE DE DADOS DE UMA USINA SOLAR DE GRANDE PORTE COM TRACKER DE UM EIXO

Gracilene Mendes Mota

Marcelo Medeiros

Patrícia Romeiro da Silva Jota

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2592123087>


CAPÍTULO 8..... 81

AVALIAÇÃO DO EFEITO DO PLASMA FRIO NA REMOÇÃO DE PESTICIDA EM ÁGUAS PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO

João Pedro Silvestri Ferreira

Rodrigo Menezes Wheeler

Elisa Helena Siegel Moecke

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2592123088>

CAPÍTULO 9..... 92

CAPIM JARAGUÁ COMO LIGANTE EM BRIQUETES DE FINOS DE CARVÃO


Emanoel Zinza Junior

Andrea Cressoni de Conti

Gabriel Toledo Machado

Fábio Minouru Yamaji

Felipe Gomes Machado Cardoso

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.2592123089>

CAPÍTULO 10..... 101

POTENCIAIS APLICAÇÕES DA VINHAÇA DA CANA-DE-AÇÚCAR VISANDO A PRODUÇÃO MAIS LIMPA: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

Rodrigo Menezes Wheeler


Jéssica Mendonça Ribeiro Cargnin

Ana Regina de Aguiar Dutra

Anelise Leal Vieira Cubas

Elisa Helena Siegel Moecke

Jair Juarez João

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.25921230810>

CAPÍTULO 11..... 114

CAVITAÇÃO HIDRODINÂMICA COMO PRÉ-TRATAMENTO DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Thiago Averaldo Bimestre

Eliana Vieira Canettieri

Celso Eduardo Tuna


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.25921230811>

CAPÍTULO 12..... 128

POTENCIAL INSETICIDA DAS SEMENTES COMO ALTERNATIVA AO CONTROLE SUSTENTÁVEL DO *Aedes aegypti* L. (DIPTERA: CULICIDAE)

Francisco Bernardo de Barros

Francisco Roberto de Azevedo

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.25921230812>

CAPÍTULO 13..... 141

DESENVOLVIMENTO DE OFICINAS PARA CONFECÇÃO DE PRODUTOS SUSTENTÁVEIS UTILIZANDO LONA DE *BANNER* DURANTE A PANDEMIA DA COVID-19


Marilda Colares Jardimina dos Santos

Sheilla Costa dos Santos

José Sérgio Filgueiras Costa

Carlos Gomes da Silva Júnior

Luiz Felipe Bispo Viana


 <https://doi.org/10.22533/at.ed.25921230813>

CAPÍTULO 14..... 149

DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO PRODUTIVO PARA A FABRICAÇÃO DE PLACAS TÁTEIS

Amanda da Mota Bernar

Carmen Iara Walter Calcagno

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.25921230814>

CAPÍTULO 15..... 162

RESERVATÓRIO DE ÁGUA INTELIGENTE PARA DEFICIENTES AUDITIVOS RIBEIRINHOS

Márcio Valério de Oliveira Favacho

Vivian da Silva Lobato

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.25921230815>

CAPÍTULO 16..... 173

METHODOLOGY FOR ASSESSING ENVIRONMENTAL EFFICIENCY IN MUNICIPALITIES USING DATA ENVELOPMENT ANALYSIS

Rildo Vieira de Araújo

Robert Armando Espejo

Michel Constantino

Paula Martin de Moraes

Romildo Camargo Martins

Ana Cristina de Almeida Ribeiro

Gabriel Paes Herrera


Francisco Sousa Lira

Micaella Lima Nogueira

Karoline Borges

Sheyla Thays Vieira Barcelos

Reginaldo B. Costa

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.25921230816>

CAPÍTULO 17..... 193

**ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO AOS IMPACTOS
PROVENIENTES DE AÇÕES ANTRÓPICAS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS: O COMPLEXO
PORTUÁRIO DE ITAJAÍ NA FOZ DO RIO ITAJAÍ-AÇU**

Carlos Andrés Hernández Arriagada

Paula von Zeska de Toledo

Mariana Ragazzi Mendes

Glaucia Cristina Garcia do Santos


Raquel Ferraz Zamboni

Paulo Roberto Correa

Eduardo Riffo Durán

Nicolas Urbina

Catalina Garcia Arteaga

 <https://doi.org/10.22533/at.ed.25921230817>

SOBRE OS ORGANIZADORES 213

ÍNDICE REMISSIVO..... 214

CAPÍTULO 1

ECONOMIA CIRCULAR: PRIMÓRDIOS E DESAFIOS NOS PAÍSES DESENVOLVIDOS E EM DESENVOLVIMENTO

Data de aceite: 20/08/2021

Omar Ouro-Salim

Doutorando em Administração na Universidade de Brasília, Brasília

Patrícia Guarnieri

Professora em Administração na Universidade de Brasília

Ayawovi Djidjogbe Fanho

Mestrando em Desenvolvimento Rural na Universidade de Rio Grande do Sul

RESUMO: Os desafios de equilíbrio industrial, de saúde ambiental e humana, de crescimento econômico, nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, levam às estratégias de desenvolvimento econômico com menos carbono que incluem a aplicação do conceito de economia circular (EC). O conceito de EC é a avaliação de materiais dentro de um sistema de ciclo fechado com foco na redução de recursos naturais acompanhada de crescimento econômico. O objetivo do presente trabalho é analisar, à luz das experiências dos países desenvolvidos e em desenvolvimento, alguns elementos chave de lição para contribuir com a reflexão em andamento sobre os temáticos da economia circular. A metodologia empregada foi a revisão bibliográfica de literatura. Como resultado, percebe-se que as políticas de economia circular desenvolvidas nos países em desenvolvimento (China, México, Senegal, Brasil e Índia) seguem

os padrões das práticas de economia circular nos países desenvolvidos (Alemanha, Holanda e Japão). A implementação do sistema circular, nos países em desenvolvimento, está ainda em sua fase embrionária comparativamente aos países desenvolvidos. A China é o primeiro exemplo de países em desenvolvimento que apresenta um nível avançado no contexto da economia circular. Sugere-se um aprofundamento do temático pelos pesquisadores nos países em desenvolvimento.

PALAVRAS - CHAVE: Economia Circular; País desenvolvido; País em desenvolvimento.

CIRCULAR ECONOMY: BEGINNINGS AND CHALLENGES IN DEVELOPED AND DEVELOPING COUNTRIES

ABSTRACT: The challenges of industrial balance, environmental and human health, and economic growth, in developed and developing countries, lead to the strategies for less carbon economic development that include the application of the circular economy (CE) concept. The concept of CE is the evaluation of materials within a closed-loop system with a focus on natural resource reduction accompanied by economic growth. The objective of this paper is to analyze, in the light of experiences from developed and developing countries, some key lesson elements to contribute to the ongoing reflection on circular economy themes. The methodology employed was a literature review. As a result, it can be seen that circular economy policies developed in developing countries (China, Mexico, Senegal, Brazil, and India) follow the patterns of circular economy practices in developed countries (Germany, the Netherlands, and Japan). The

implementation of the circular system in developing countries is still in its infancy compared to developed countries. China is the first example of a developing country that is advanced in the circular economy context. Further exploration of the topic by researchers in developing countries is suggested.

KEYWORDS: Circular Economy; Developed country; Developing country.

INTRODUÇÃO

Diante das inúmeras consequências da mudança climática, tais como catástrofes naturais, aquecimento global, aumento dos oceanos e dos demais problemas ambientais, organizações, governos e comunidades científicas estão em busca de uma solução adequada. Isso faz com que o assunto do meio ambiente esteja se tornando global. As preocupações *vis à vis* com o meio ambiente devem se basear no envolvimento voluntário dos governos, das organizações público-privadas, das organizações não governamentais e dos públicos-alvo. Nesse contexto, foram assinados vários acordos internacionais, como acordos de IPCC¹, UNFCC², protocolo de Kyoto³, COP 21, acordo de Paris, entre outros, para mitigar os problemas ligados às mudanças climáticas. Enquanto as realizações desses eventos e encontros internacionais tiveram pouco impacto nas resoluções dos problemas ambientais encontrados, os países ainda lutam para atingir as metas ambientais pelas quais se comprometeram. Os países desenvolvidos, como o Canadá e os Estados Unidos, saíram respectivamente do acordo de Kyoto e do acordo de Paris⁴ devido à ineficiência desses acordos na resolução dos problemas ambientais (Adrien, 2016).

Koubi et al. (2012) indicaram dois motivos que envolvem os problemas ambientais. Para eles, os esforços para reduzir as mudanças climáticas correspondem ao dilema do prisioneiro apontado por economistas do século XIX. Em segundo lugar, eles explicam que a própria humanidade está na origem da mudança climática. Ademais, os custos e benefícios que viriam de um plano de ação para reduzir as emissões de gás de efeito estufa (GEE) não são unânimes.

A forma da utilização dos recursos naturais passa a ser insustentável. Assiste-se, cada vez mais, à crescente extração de matérias-primas contrastante com aquelas que o

1 O Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática “foi estabelecido em 1988 para fornecer avaliações detalhadas do estado do conhecimento científico, técnico e socioeconômico sobre as mudanças climáticas, suas causas, impactos potenciais e estratégias de resposta” (IPCC, sd).

2 UNFCC (Trad.: Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques): « En 1992, des pays ont joint ce traité international en vue de considérer ce qui pouvait être fait pour réduire le réchauffement global et faire face à toute hausse inévitable des températures » (UNFCC, s.d.).

3 « Le Protocole de Kyoto, qui succède à la convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques, est l'un des plus importants instruments juridiques internationaux visant à lutter contre les changements climatiques. Il contient les engagements pris par les pays industrialisés de réduire leurs émissions de certains gaz à effet de serre responsables du réchauffement planétaire » (Europa, 2011).

4 O Acordo de Paris foi aprovado pelos 195 países Parte da UNFCC para reduzir emissões de gases de efeito estufa (GEE) no contexto do desenvolvimento sustentável. O compromisso ocorre no sentido de manter o aumento da temperatura média global em bem menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais e de enviaar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais. <https://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>.

planeta oferece para a humanidade. Nesse sentido, segundo os pesquisadores da União Europeia, até 2050, o mundo conhecerá uma escassez dos recursos naturais (*European Commission*, 2010).

Sendo assim, desde 2010, foi cogitado um novo modelo chamado economia circular (EC) que propõe conhecimento e monitoramento por parte dos atores, dos públicos-alvo e dos responsáveis políticos a fim de repensar uma nova forma de consumo humano, poupando assim os recursos naturais.

As diferentes estratégias da EC foram planejadas para se concentrar no gerenciamento dos resíduos e evoluíram gradualmente para incluir abordagens mais sistêmicas para toda a economia. No modelo de EC, os produtos são planejados para serem restaurativos e regenerativos com maior valor agregado. Nessa lógica, os princípios da EC incluem os 3Rs (Reduzir, Reutilizar e Reciclar), mas foram estendidos para incluir os 6Rs (Reutilizar, Reciclar, Redesenhar, Remanufaturar, Reduzir e Recuperar). A EC tem sido amplamente reconhecida e defendida pela comunidade internacional, pois acredita-se que ela transforma o desenvolvimento econômico linear de maneira mais sustentável (Liu et al., 2018).

O objetivo deste trabalho é analisar, à luz das literaturas existentes, as experiências dos países desenvolvidos e em desenvolvimento, além de algumas lições que possam contribuir para a reflexão em andamento referente à temática da EC. Na primeira seção, apresentaremos o conceito da economia circular; na segunda seção, serão apresentadas algumas iniciativas de EC em países em desenvolvimento exceto a China onde já existe um crescimento da EC; na terceira, será apresentado o avanço da EC nos países desenvolvidos; na quarta, será apresentada a metodologia do trabalho; na quinta, os resultados e discussões serão apresentados; e, na sexta, as considerações finais.

ECONOMIA CIRCULAR

A origem da EC tem uma explicação linguística e descritiva. A EC é o antônimo da economia linear, que é a transformação dos recursos naturais em recursos não renováveis por meio da produção industrial. Historicamente, o modelo linear começou no início da revolução industrial do século XIX. Essa economia leva aos danos ambientais por vários motivos, como escassez de recursos naturais, pelo seu uso excessivo, e poluição do ar devido à degradação ambiental (Murray et al., 2017).

No entanto, o primeiro surgimento do conceito de EC foi formulado num estudo realizado por Stahel & Reday (1976), intitulado “*The potential for Substituting Manpower for Energy*”. Os dois autores desenvolveram seus pensamentos em várias publicações, incluindo o livro “*The performance Economy*”, lançado em 2006, e revisado em 2010. Além disso, o termo EC apareceu também no livro “*Economics of Natural Resources and the Environment*” de Pearce & Turner (1990). Outro ponto a ser destacado foi a publicação,

em 2002, do livro *“Cradle to Cradle”* de McDonough & Braungart. Esse mesmo conceito foi publicado por Stahel sob título *“Cradle to Grave”*, associado à prática de economia linear. A partir de 1999, muitos países começaram a desenvolver o conceito da EC, com destaque para a China, que começou a iniciativa de EC no início de 1999. A Alemanha foi considerada pioneira nos princípios da EC desde 1994. O Japão adotou o conceito dos 3Rs. Ademais, o modelo de EC foi discutido nos eventos internacionais, como o G7 e G8. Nesse contexto, um ponto fundamental no crescimento da EC foi dado, em 2010, com a implementação, no Reino Unido, da *Ellen Foundation MacArthur*, que tem como principal foco a expansão e a promoção desse conceito na União Europeia e no mundo. Graças a essa fundação, foi elaborado um pacote relativo à EC em 2015. Assim por diante, a *Ellen Foundation MacArthur*, incentivou empresas de grande porte, governos e organizações privadas a implementarem os modelos circulares. Em 2014, o fórum econômico mundial, organizações não governamentais, economistas, governos, em colaboração com a *Ellen Foundation MacArthur* e *McKinsey & Company*, apresentaram um relatório intitulado: *“Towards the Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chain”*. Nesse contexto, foi adotado, em 2015, pela Organização das Nações Unidas, 17 objetivos para o desenvolvimento sustentável cujos dois objetivos estão ligados diretamente à EC (Lemos, 2018).

O conceito da EC foi aprovado pela União Europeia (UE) e por vários governos dos países americanos, europeus e asiáticos. Segundo a estimativa da União Europeia, a EC poderia auxiliar no crescimento econômico dos países Europeus com até 600 bilhões de euros por ano (Korhonen, et al., 2018).

Porém, a EC é um sistema industrial que visa substituir o conceito de fim de vida dos produtos por meio de ciclo fechado. A partir da EC, é possível eliminar o uso de produtos tóxicos que prejudicam à biosfera. O objetivo da EC é reduzir os desperdícios de matérias-primas, produtos não renováveis, por meio de sistemas de produção fechada e novos modelos de negócios (*Ellen MacArthur Foundation*, 2013).

Stahel & Reday (1976) definiram algumas características da EC, focalizando-se na produção industrial. Eles conceituaram a visão da EC para descrever estratégias industriais de preservação de resíduos e desmaterialização da produção industrial. A compreensão da EC e suas aplicações no sistema econômico atual e nos processos industriais progrediram e incorporaram diferentes conceitos que compartilham a ideia de ciclos fechados (Geissdoerfer et al., 2017).

Para Andersen (2007); Ghisellini et al. (2016) e Lieder & Rashid (2016), a EC tem recebido ampla atenção nas pesquisas acadêmicas e no design de produtos circulares (Bakker et al., 2014). O trabalho da *Ellen Foundation MacArthur*, na União Europeia, foi importante e chamou a atenção dos atores e políticos, influenciando assim governos e agências intergovernamentais, em nível local, regional, nacional e internacional (Geissdoerfer et al., 2017).

Destarte, a EC foi percebida como uma abordagem sistêmica e de múltiplos atores, em um contexto da cadeia de valor, ciclo de vida, inovação e transformações, em direção ao desenvolvimento sustentável, para que apareçam todos os interesses; mas não apenas para andar em círculos. Ademais, ela vai muito além da reciclagem e do gerenciamento de resíduos. Esse novo paradigma leva em consideração a vida útil dos produtos, materiais e recursos naturais utilizados na produção, transporte e consumo. Contudo, a transição para uma EC envolve o uso mais eficiente dos recursos ao longo da cadeia de suprimentos e processos de consumo (Sauvé et al., 2016).

Entretanto, a EC almeja dissociar o progresso econômico do consumo de recursos naturais. Nesse sentido, ela incentiva a reduzir os gastos dos recursos naturais e investir cada vez mais em eficiência energética, na poupança de água ou no reuso otimizado de matérias-primas (Lemos, 2018).

DESENVOLVIMENTO DA ECONOMIA CIRCULAR NOS PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO

Casos do Senegal, México, Índia e Brasil

Senegal, México, Índia e Brasil são países em desenvolvimento que se esforçam em manter o meio ambiente limpo, sem resíduos sólidos. A pressão demográfica dos quatro países foi acompanhada por um desenvolvimento urbano rápido e, muitas vezes, caótico; portanto, os quatro países são dinâmicos do ponto de vista econômico. No entanto, esses países enfrentam enormes desafios ambientais devido à explosão demográfica urbana. Sendo assim, a EC surge como um meio de combater os problemas ambientais de maneira mais eficaz e sustentável. Apesar de o governo de cada país mostrar uma vontade política em resolver os problemas ambientais, impondo uma série de leis ambientais, grande parte de gestão operacional dos resíduos sólidos foi deixada para os setores privados (Guérin-Calmettes & Walckenaer, 2016).

Se o conceito da EC não foi ainda definido nos quatro países, o trabalho de conscientização do governo para a preservação do meio ambiente começou a dar frutos. Nesse sentido, as leis ambientais desenvolvidas, nesses países, começaram a seguir alguns princípios da EC. Portanto, a efetiva adoção da EC, em tais países, permanece ainda limitada por diferentes barreiras (Guérin-Calmettes & Walckenaer, 2016).

O quadro 1 mostra algumas políticas ambientais adotadas por esses países, inspiradas na EC a fim de minimizar os problemas ambientais.

Países	Políticas ambientais
México	<ul style="list-style-type: none"> -Os resíduos sólidos gerados são contabilizados por meio de estudos estatísticos que permitem o monitoramento de sua evolução a longo prazo; -Desde 8 de setembro de 2014, uma estrutura legislativa permitiu que as empresas apresentassem seu plano de gestão de resíduos sólidos; -Entre 15 de setembro de 2014 e 30 de junho de 2015, foram validados vinte planos de gestão de resíduos sólidos; -Implementação de um mercado reciclável; -Fiscalização das empresas.
Brasil	<ul style="list-style-type: none"> -A lei de “Política Nacional de Resíduos Sólidos”, aprovada em agosto de 2010, exige que as grandes cidades do Estado brasileiro estabeleçam um plano de gestão de resíduos sólidos para estruturar e agilizar a coleta formal e informal.
Senegal	<ul style="list-style-type: none"> -Criação de um plano climático territorial integrado para a região de Dakar em 2012; -Uma lei publicada em 2013 proíbe a fabricação e distribuição de sacolas plásticas com espessura inferior a 30 micrones; essa lei entrou em vigor em 4 de janeiro de 2016; -Criação de UCG (Unidade de Coordenação e Gestão).
Índia	<ul style="list-style-type: none"> -A distribuição de sacolas plásticas é proibida por lei desde o início de 2016; -Os equipamentos de coleta ligados aos setores de resíduos sólidos foram isentos de impostos; -Colaboração entre setores público-privados para resolver os problemas ambientais; -criação de modelo <i>Renew IT</i>.

Quadro 1: Políticas ambientais à luz da EC nos quatro países em desenvolvimento.

Fonte: Adaptado de Guérin-Calmettes & Walckenaer (2016).

No caso do México, a implementação de um mercado reciclável pelo governo permitiu a troca de resíduos recicláveis com produtos agrícolas locais. Esse mercado assegura a reciclagem de resíduos sólidos. Nota-se também uma interação do governo com a população, estabelecendo as leis ambientais para reforçar a reciclagem dos resíduos e preservar um ambiente limpo isento de lixos. As empresas privadas locais apresentam cada ano um relatório de gestão de seus resíduos. Nesse sentido, foram aprovadas novas leis e legislações de fiscalização das empresas. No Brasil, o governo brasileiro criou a lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em 2010, com o objetivo de enfrentar os problemas relacionados ao manejo inadequado dos resíduos sólidos. Em Senegal, a coleta e tratamento dos resíduos sólidos foram uma prerrogativa do governo. No entanto, grande parte de tratamento dos resíduos sólidos é operada por atores do setor informal. O governo deixou esse serviço para a Unidade de Coordenação e Gestão (UCG) dos resíduos a fim de coordenar e capacitar os catadores de lixo. Na Índia, como exemplo de modelo de EC, houve a criação de um modelo tecnológico chamado *Renew IT*. Esse

modelo consiste na implementação de um centro de tratamento de resíduos eletrônicos menos poluentes e mais eficazes. Esse modelo permite reduzir o fosso digital em um país com mais de um bilhão de pessoas, onde apenas um em cada dez tem um computador. O modelo é comparável ao modelo de logística reversa, que é um componente da EC (Guérin-Calmettes & Walckenaer, 2016).

Caso da China

A China representa uma economia de poder, contudo ela tem 24 milhões de pessoas que vivem abaixo da linha de pobreza. Nesse sentido, segundo os dados das Nações Unidas, a China não é um país desenvolvido; no entanto, ela continua a ser mais poderosa do que um país em desenvolvimento. A China, segunda maior economia do mundo, é a principal fabricante mundial dos produtos manufaturados; número dois em comércio de serviços; e o terceiro maior investidor estrangeiro direto do mundo. Mas ela já estabeleceu o objetivo de intensificar seu papel como ator dominante no mercado internacional⁵.

A China lançou, em 1999, vários projetos-piloto; assumiu, em 2002, formalmente o conceito da EC como instrumento de política ambiental; e adotou, em 2008, a lei sobre a promoção da EC (Lemos, 2018).

A EC foi uma prioridade nacional no mais alto nível do Estado, mantida, ao longo do tempo⁶, devido à sua contribuição na resposta de grandes desafios de desenvolvimento sustentável na China (dependência de matérias-primas, energia, redução de gás de efeito estufa (GEE) e impactos ambientais) e no desenvolvimento de ecoindústrias, fonte de crescimento interno. Em 2005, o governo chinês lançou os primeiros projetos-piloto da EC em sete setores industriais relacionados à 42 grandes empresas, com 4 áreas de reciclagem, 13 parques industriais em dez províncias (Rouquet & Nicklaus, 2014).

O primeiro trabalho em relação à EC, na China, teve início em 2006. Nesse sentido, ela entrou em vigor em janeiro de 2009. Inspirada nos modelos alemão⁷ e japonês⁸, ela se concentrou nas abordagens dos 3R, em um sentido amplo, incluindo a simbiose industrial, particularmente em parques ecoindustriais e de tecnologias limpas. O governo chinês introduziu as leis ambientais em prol da EC. Por vários anos, a China tem pressionado pelo desenvolvimento desse novo paradigma econômico; contudo, o interesse pela EC pode parecer surpreendente visto que a China é considerada como um país poluente. No entanto, as razões desse interesse foram ecológicas e econômicas. A China construiu seu poder em uma economia industrial intensiva que consome muita energia e recursos naturais. A economia linear que foi praticada, na China, não levou em conta as externalidades negativas relacionadas aos danos ambientais. O preço que pagou esse país do ponto de vista ecológico foi a chuva ácida, ar irrespirável na cidade, solos e rios

5 Disponível em: <https://www.letemps.ch/economie/chine-nest-un-pays-developpe>

6 Citado muitas vezes no relatório do 18º Congresso Nacional do Partido Comunista Chinês (novembro de 2012).

7 A lei-quadro “para a promoção da gestão de resíduos num ciclo fechado de substâncias e o seguro de eliminação de resíduos de uma forma ambientalmente compatível” (1994).

8 Lei Básica para Estabelecer uma Sociedade Baseada em Reciclagem (2000).

altamente poluídos, desertificação, perda de biodiversidade, etc. Nesse sentido, já a partir do ano 2000, o governo chinês compreendeu a importância, tanto ecologicamente quanto economicamente, que representa a EC para a sociedade chinesa (Su et al., 2013).

Em 2005, com resultados promissores, o Conselho do Estado decidiu acelerar o processo de desenvolvimento da EC. Sob esse novo impulso político, novos projetos-piloto de demonstração circular foram lançados. Em 2008, 178 projetos circulares foram operacionais. Esses projetos incluíram cidades, empresas, parques industriais, cobriram vários setores estratégicos da China e custaram mais de 1000 bilhões de *yuan*s. Esses projetos foram pilotados por duas agências governamentais: o ministério da proteção ambiental e a comissão nacional de desenvolvimento e reforma (Wu et al., 2014). Ao mesmo tempo, a EC foi formalmente incluída no plano quinquenal da China (2006-2010) como um elemento central para o estabelecimento de uma energia de baixa emissão de carbono. A EC tornou-se então uma estratégia nacional de desenvolvimento sustentável (Rouquet & Nicklaus, 2014).

A China incluiu nas suas leis de economia circular⁹ e nos respectivos planos de reciclagens de resíduos¹⁰ os princípios da EC por setor principal¹¹. A China definiu metas quantitativas para a produtividade dos materiais. Nesse sentido, ela aumentou em 15% sua produtividade em materiais de 2010 a 2015¹². Ela é um país que defende o uso de políticas de gestão rígidas (hierarquia e coerção) para envolver as autoridades locais e empresas na virada circular. No que diz respeito aos negócios, o governo chinês usou incentivos diretos e flexíveis (colaboração e voluntarismo).

Desenvolvimento da economia circular nos países desenvolvidos

As abordagens da EC têm recebido cada vez mais atenção dos governos, científicos, atores políticos e empresariais, nesses últimos anos, uma vez que respondem às necessidades econômica, social e ambiental. O conceito da EC surge com diferentes abordagens e prioridades em diferentes países desenvolvidos (Rouquet & Nicklaus, 2014). Portanto, a lei referente à EC, na Alemanha, visa reduzir o uso de recursos naturais por meio da eliminação de resíduos, concentrando-se na reciclagem em circuito fechado. Em 2000, o Japão lançou o “*Sound Material-Cycle Society*” para empenhar-se na gestão de resíduos sólidos. A Alemanha foi um dos primeiros países que adotaram uma lei baseada nos princípios da EC atualizada em 2012¹³. A Holanda integrou também essa abordagem de ciclo fechado de resíduos criando um plano nacional de gerenciamento de resíduos, de 2009 até 2021, com foco no rumo para uma política de cadeia de materiais.

9 Alemanha

10 Para o Japão, é mais precisamente a taxa de uso circular de recursos (reciclagem e reutilização).

11 Indústria de carvão, siderurgia, metais não ferrosos, petróleo e petroquímica, produtos químicos, materiais de construção, papel, agroalimentar, têxteis, agricultura, pecuária, silvicultura, pesca, construção, serviços ...

12 “Estratégia de Desenvolvimento da Economia Circular e Plano de Ação 2010 2015”, Conselho de Estado, 2013. Este objetivo estratégico está incluído no plano chinês de cinco anos.

13 Lei para a Promoção da Economia da Circulação e para uma Gestão de Resíduos Ambientalmente Segura de 24 de fevereiro de 2012.

A EC, em seu sentido amplo¹⁴, é um modelo de crescimento econômico que envolve os polos ecológicos e oportunidades econômicas. Independentemente dos países, ela se baseia na escassez de recursos para desenvolver novas tecnologias e produtos que sejam mais eficientes em recursos e com menos impacto ambiental¹⁵.

Caso do Japão

O Japão é um dos primeiros países a desenvolver programas e leis para a EC em nível nacional. O interesse por este novo conceito econômico tem sua origem no contexto geográfico do arquipélago. Do ponto de vista da natureza, o Japão é um país com poucos recursos naturais. Nesse sentido, ele importa as matérias-primas necessárias para sua indústria, tornando-o altamente dependente dos outros países em recursos naturais. Além disso, conta com uma população de mais de 127 milhões de habitantes, o que o torna um dos países mais povoados do mundo. Com ausência de espaço no território, existem problemas de armazenamento e aterro sanitário dos resíduos sólidos (Rouquet & Nicklaus, 2014).

Três etapas marcaram o crescimento da EC no Japão. Em primeiro lugar, no início das décadas de 1970 e 1980, o Japão enfrentou dois problemas que ameaçaram a vida econômica do país. Nesse sentido, houve uma falta de espaço para colocar os resíduos sólidos em aterros ou armazenar produtos agrícolas. Em segundo lugar, o Japão passou pelas duas crises mundiais de petróleo entre 1973 e 1979, o que mergulhou o país em uma recessão e dependência estrangeira referente aos recursos naturais. Em terceiro lugar, após vários anos de trabalho, o governo japonês promulgou a lei-quadro para que houvesse o crescimento da EC, em 2001, denominada lei “*Basis Act*”, no estabelecimento de uma sociedade de ciclo fechado de materiais. Porém, essa lei veio para dar uma direção estratégica à lei ambiental. Nesse sentido, foram criadas leis específicas, como a reciclagem de carros ou a reciclagem de resíduos alimentares. Além disso, todas as leis relativas à gestão de resíduos e à promoção do uso de recursos recicláveis foram alteradas para subscrever-se à estratégia dos 3Rs (Xiujun et al., 2012).

Para implementar o modelo da EC, o Estado japonês colaborou diretamente com as empresas privadas (Sana & Stokink, 2014). Em seguida, diversas ações de incentivo acompanharam as medidas ambientais. O programa *Eco town* é uma ilustração de incentivo. Esse programa foi uma Parceria Público-Privada (PPP) que incluiu empresas privadas, município e Estado. O objetivo do programa é “criar parques ecoindustriais 3R com centros de reciclagem de última geração, a fim de limitar drasticamente os aterros sanitários, mas também revitalizar/reconverter alguns setores econômicos e desenvolver

14 A Alemanha, em sua lei de economia circular de 2012, adota uma definição de economia circular limitada à prevenção e reciclagem de resíduos. No entanto, a Alemanha possui um programa eficaz de uso de recursos que incorpora um componente de economia circular.

15 O Japão está priorizando a exportação de suas tecnologias, particularmente na Ásia, na China e no Sudeste Asiático, onde ele tem ampla cooperação. A lei-quadro japonesa e seu plano incluem um componente de cooperação internacional. Foi definido um plano de ação para a promoção destas iniciativas, especificamente por meio de ajuda ao desenvolvimento bilateral ou multilateral. Disponível em: http://www.env.go.jp/recycle/3r/en/asia/02_03-1/07.pdf.

setor de excelência em reciclagem”. Esse programa baseia-se nos critérios ecológico e econômico (Rouquet & Nicklaus, 2014).

Por meio de várias leis ambientais vigentes no país (lei-quadro, leis específicas...), o governo japonês usou diferentes modos de governança, dependendo do tipo de *stakeholders* envolvidos: autoridades locais, empresas e consumidores. No que diz respeito à lei-quadro para o estabelecimento de uma economia circular, o principal objetivo foi a estruturação das demais leis e orientações gerais traduzidas em planos estratégicos. Porém, sem implicações práticas dos públicos-alvo.

O quadro legislativo japonês que trata da EC é amplo. Todavia, o governo japonês usa uma combinação de quatro modos de políticas de gestão ambiental para promover o desenvolvimento da EC nas empresas: hierarquia, coerção, colaboração e o marco regulatório. Em contraste, o regulador japonês usa principalmente a hierarquia e a coerção como modelo de política de gestão ambiental para envolver as autoridades locais na virada circular. Para promover a adoção da EC no Japão, o sistema japonês envolveu também os atores da sociedade civil. O Japão aprovou as leis em direção à EC, tendo em vista estabelecer uma sociedade com ciclo de materiais sustentáveis. Posteriormente, foi publicado um pacote legislativo que abrange todas as áreas de produção assim como um plano estratégico para atingir os objetivos definidos. No entanto, o conceito da EC, no Japão, foi centrado na gestão de resíduos sólidos particularmente por meio do conceito 3Rs (Rouquet & Nicklaus, 2014).

Caso da Alemanha

O crescimento da EC ocorreu em duas fases na Alemanha. A primeira fase começou na década de 1990. Naquela época, o país encontrou problemas de exploração excessiva dos aterros sanitários. Nesse sentido, o governo alemão decidiu então administrar a gestão de resíduos sólidos e aprovou uma lei sobre o fim dos desperdícios de embalagens em 1991. Daí foi estabelecida a lei nacional de gerenciamento de resíduos e de ciclo fechado (Davis & Hall, 2007). Essa lei promoveu o gerenciamento de resíduos em ciclo fechado e garantiu o descarte dos resíduos de maneira ambientalmente correta. (Adrien, 2016).

Enquanto a coleta e tratamento de lixo doméstico foram feitos pelo município, a reutilização e a reciclagem foram feitas por organizações privadas (Rui, 2007). As iniciativas privadas foram voluntárias. Os municípios participaram dos diferentes programas de subsídios, entre outros, como: compras públicas de produtos reciclados, comunicação com cidadãos. No entanto, não foi em vão que organizações privadas e públicas de coleta de lixo firmaram uma parceria. Assim, foi formada uma Parceria Público-Privada (PPP) entre as organizações privadas e públicas, e o mercado de produtos reutilizáveis e recicláveis tornou-se flutuante na Alemanha. Em 2006, mais de 5.000 empresas operaram no campo com uma receita total de cerca de 37 bilhões de euros. O processo de coleta de resíduos em geral foi realizado pelas autoridades municipais e pelos organismos privados. Esse

processo de coleta de resíduo foi denominado *Duals System Deutschland* (Rui, 2007).

Desde 2002, a Alemanha incluiu em sua estratégia nacional de desenvolvimento sustentável uma meta para dissociar o crescimento econômico do consumo de materiais, o que resultou no estabelecimento de um objetivo quantitativo: a duplicação na produtividade dos materiais¹⁶ (combustíveis fósseis, materiais de construção, minerais industriais, minérios metálicos, biomassa) até 2020. Esses objetivos levaram a Alemanha a realizar importantes manobras de avaliação como:

- Identificação do potencial energético para uso eficiente de materiais em diferentes ramos da indústria;
- Identificação de medidas para explorar esses potenciais energéticos;
- Avaliação dos impactos micro e macroeconômicos dessas medidas.

O governo coopera junto com membros das indústrias, mas também com as universidades e centros de pesquisa em diferentes projetos. Além dessas contribuições, os diferentes níveis de autoridades na Alemanha fornecem subsídios, emitem impostos contra produtos ou processos ambientalmente insalubres, estabelecem padrões ecológicos, fortalecem a consciência ambiental dos consumidores, fornecem apoio político formal e finança pesquisas. Além disso, várias medidas das autoridades visam incentivar os cidadãos sobre as compras verdes (Rouquet & Nicklaus, 2014).

O modelo alemão inclui as entidades privadas em sua política de gestão de resíduos sólidos. Nesse sentido, diferentes agências governamentais trabalham em colaboração com as entidades privadas. Além disso, algumas empresas privadas e públicas de coleta de dados científicos são criadas para fins de fortalecer as Parcerias Público-Privadas. Portanto, o modelo alemão é menos inclusivo do que o modelo japonês do ponto de vista da governança. A Alemanha pode ser considerada como o primeiro país que adotou uma legislação inspirada nos princípios da EC com a introdução do princípio da responsabilidade alargada do produtor, e, posteriormente, com a adoção de uma lei sobre gestão de resíduos num ciclo fechado de substâncias (Adrien, 2016).

Caso da Holanda

A Holanda é um dos países mais ativos para a implementação do conceito de “*Cradle to Cradle*”¹⁷, desenvolvido por Stahel na década de 1970. O conceito foi popularizado pelo químico alemão Braungart¹⁸ e pelo arquiteto americano McDonough, em 2002, em seu livro “*Cradle to cradle: remaking the way we make things*”.

16 Produtividade material refere-se à quantidade de materiais usados por uma economia para a riqueza que ela produz. Reflete a eficiência material de uma economia: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Umweltoeko/omischeGesamtrechnungen/Umweltsindikatoren/IndikatorenP_DF_0230001.pdf?__blob=publicationFile

17 Ao contrário da frase “*Cradle to grave*”, do berço ao caixão.

18 Ex-ativista do Greenpeace, fundador da Agência de Encorajamento para Proteção Ambiental (EPEA) em Hamburgo, uma empresa de consultoria que apoia as empresas em seus esforços para obter a certificação C2C. A EPEA possui uma subsidiária em Paris, um membro fundador do Instituto de Economia Circular, que criou um grupo de trabalho C2C. Finalmente, uma cadeira “do berço ao berço” foi criada na Universidade Erasmus de Roterdã, onde ele está presidindo.

O modelo teórico *Cradle to Cradle* (C2C) propõe uma abordagem do ciclo de vida¹⁹. Os produtos concebidos e fabricados, segundo a abordagem C2C, utilizam, em particular, matérias-primas biodegradáveis (nutrientes naturais), que regressam no ciclo biológico, ou matérias-primas sintéticas sem impacto negativo na saúde humana ou no meio ambiente e são facilmente desmontadas e reutilizadas ou recicladas indefinidamente sem perder suas qualidades²⁰.

O governo holandês desenvolveu em sua política de desenvolvimento sustentável as Leis voltadas para a utilização dos produtos C2C. Um guia das Leis ambientais vigentes no país foi publicado nas regiões e locais pelo governo holandês²¹ para a aplicação das abordagens C2C nas indústrias/empresas. Nesse sentido, a abordagem C2C foi usada nas construções dos edifícios e cidades²².

O governo holandês construiu os centros de habilitação C2C (*Cradle to Cradle Islands*²³) em torno de demonstradores aplicáveis em um contexto insular com financiamento dos Institutos europeus.

A Holanda distinguiu-se do Japão, da Alemanha e da China por meio de aplicação da abordagem C2C, segurando, no entanto, os princípios essenciais de desenvolvimento sustentável, mas sem vínculo com o processo de certificação defendido por seus dois fundadores. Nos próximos anos, a Holanda pretende aderir às abordagens de *Ellen Foundation MacArthur* referente à *Blue Economy*²⁴. Nesse sentido, foi criado, em 2012, a organização sem fins lucrativos “*the circle economy*”²⁵, com membros fundadores, incluindo empresas de grande porte em C2C: *Philips, AkzoNobel, DSM, Desso*, Instituto holandês de ecologia, consultores, investidores de tecnologia limpa, empresas de economia social e solidária, políticos²⁶. O objetivo do governo holandês é acelerar a transição de uma economia linear para uma economia circular. Para isso, foi criada uma plataforma que reúne empresas que oferecem soluções ambientais e empresas que fornecem um projeto referente à EC. A ideia principal é reunir fornecedores do país para trocar ideias a fim de melhorar as práticas ambientais. Os primeiros estágios do projeto foram processados pela plataforma, resultando em um roteiro²⁷, antes da escolha dos parceiros e líderes do projeto. Nesse contexto, em abril de 2013, o governo holandês publicou um relatório denominado

19 A fase de utilização do produto não é, no entanto, tomada em consideração, ao passo que, para alguns produtos (transporte, por exemplo), é o que tem maior impacto no ambiente.

20 “*Upcycling*” em vez de “*downcycling*”, uma abordagem tradicional de reciclagem.

21 « *Cradle to cradle and sustainable public procurement* »:

22 Exemplo da cidade chinesa de Huangbaiyu (William McDonough).

23 Projecto internacional (6 países) agrupando ilhas do Mar do Norte no financiamento europeu InterReg (3,5 Meuros em 2009-2012).

24 «*The Blue Economy: 10 years - 100 innovations - 100 million jobs*», livre de Gunter Pauli, fondateur et directeur du «Zero Emissions Research and Initiatives».

25 www.circleeconomy.com

26 Especificamente o deputado social-democrata Jules Kortenhout, DG da European Climate Foundation e investidor em tecnologias limpas.

27 Em troca de pagamento da taxa de adesão. A empresa está comprometida em compartilhar sua experiência com outros membros da plataforma posteriormente.

“Desbloqueio do potencial da economia circular²⁸”.

Com relação à EC, a Holanda foi ativa e participou em todos os programas europeus que tratem do tema EC e da utilização eficiente dos recursos naturais, especificamente nos programas TNO²⁹ e TU Delft:

- *European Technology Platform on Sustainable Minerals and Resources*
- *European Innovation Partnership on Raw Materials for a Modern Society*
- *European Institute of Innovation and Technology (EIT)/Knowledge and Innovation Communities (KIC)*
- *Projets Life e fundos estruturais europeias.*

Desde o final da década de 1990, a Holanda tem sido envolvida nas abordagens de simbiose industrial que consistem em pesquisar entre empresas próximas ou parque ecoindustrial para reforçar as sinergias de substituição (uso de processo de produção de recursos disponíveis a partir dos outros atores ou recursos renováveis) ou *pooling*³⁰.

Na mesma lógica de desenvolvimento de EC, o governo holandês lançou o programa *Green Deal*, em 2011, apoiado pelo Ministério dos assuntos econômicos agrícolas de inovação de infraestrutura e de ecologia. Esse programa constituiu um elemento central no crescimento verde do país cujos nove temas prioritários foram discutidos: economia de energia, clima, bioeconomia, mobilidade sustentável, economia circular, matérias-primas, construção sustentável, alimentos sustentáveis, água e biodiversidade. O programa destina-se a desenvolver oportunidades econômicas com impacto ambiental positivo e provedor de empregos. Em três anos, 160 acordos verdes foram assinados entre o governo holandês e os patrocinadores do projeto, cuja quinzena é relacionada à EC e gestão eficiente dos recursos naturais (Rouquet & Nicklaus, 2014).

A Holanda optou pelo uso de abordagem “*Cradle to Cradle*” em sua política de desenvolvimento econômico, social, ambiental e na promoção de uma política de simbiose industrial (transformação de um subproduto da indústria em matéria-prima) por meio da criação de ecoparques industriais. Essa estratégia consta no respectivo plano nacional de gestão de resíduos, planejado pelo governo holandês desde 2009. Nesse contexto, foi apresentada em setembro de 2016, uma estratégia para a implementação do modelo de EC, para o ano 2050, intitulado “*Circular Economy in the Netherlands by 2050*”³¹.

28 Rapport « Unleashing the power of the circular economy » fait par Imsa Amsterdam pour Circle Economy :http://www.circleeconomy.com/files/4513/6682/6344/full_report_Unleashing_the_Power_of_the_Circular_Economy_Circle_Economy_IMSA.pdf

29 O maior instituto holandês de pesquisa aplicada. Público, criado em 1932 por lei, 4500 funcionários.

30 Quando as empresas consomem ou rejeitam o mesmo fluxo.

31 20<https://www.government.nl/documents/policy-notes/2016/09/14/a-circular-economy-in-the-netherlands-by-2050>

METODOLOGIA DE PESQUISA

O estudo iniciou-se com revisão bibliográfica de literatura a partir da análise de conteúdo dos artigos (Bardin, 1977), contemplando autores que discutiram assuntos acerca da economia circular, nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, que serviram de fundamentação teórica para nosso artigo. A pesquisa bibliográfica sobre a temática apresentada efetuou-se no levantamento de informações na base de dados do Google Acadêmico entre o ano 2000 e 2020. Foi selecionado um total de dez artigos, cujas palavras-chave contivessem “Economia circular” “País desenvolvido” e “País em desenvolvimento”, em inglês e francês, que são umas das línguas dominantes no lado acadêmico, que serão aqui discutidos. Ademais, foram usados sites de pesquisas internacionais sobre o assunto no complemento das informações.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foi estudado o tipo de desenvolvimento circular implementado nos países desenvolvidos e em desenvolvimento. Enquanto alguns aspectos da política de gestão de resíduos entre países parecem estar unidos, há algumas diferenças significativas que emergem.

Nos países desenvolvidos e em desenvolvimento identificados, existem várias leis ambientais que promovem o desenvolvimento sustentável. De acordo como Liu et al. (2018), a EC evolui em cada país em função dos contextos político, social, econômico, ambiental e cultural. Destarte, o Japão, a China e a Alemanha utilizaram medidas de vinculação e incentivo. Eles usaram também abordagens que foram flexíveis e rígidas na implementação dos modelos de EC. Nesse contexto, diversas ferramentas institucionais foram aplicadas pelas autoridades locais (Adrien, 2016).

Observa-se que, os órgãos dos governos dos países desenvolvidos (Japão, Alemanha, Holanda) concentraram-se em atores distintos pela formação de parceria pública-privada, enquanto nos países em desenvolvimento não houve essa ligação estreita entre atores. Também, constata-se que em países em desenvolvimento, existem várias coletas informais que impedem uma estruturação adequada na implementação dos princípios da EC. Portanto, os modos de política de gestão elaborados em cada país parecem estar parcialmente correlacionados com os conceitos da EC.

Com relação à governança corporativa, cada país estabeleceu as leis protegendo o meio ambiente, incentivando assim as empresas a desenvolverem, em suas políticas de gestão ambiental, certos modelos circulares. A Alemanha e a Holanda aplicaram na sua governança corporativa as medidas não vinculativas; enquanto a China e o Japão completam no seu quadro legislativo de EC as regras vinculativas. Um estudo realizado por Guarnieri et al. (2020), mostra que o Brasil segue o padrão internacional na implementação

dos conceitos da EC. Por outro lado, as iniciativas de EC nos países como México, Senegal e Índia, seguem também os padrões internacionais (Guérin-Calmettes & Walckenaer, 2016). Portanto, em relação aos programas de incentivos à EC, a China é o primeiro seguido dos países europeus (Merli et al., 2018).

Embora muitos países industrializados na Europa, América do Norte e Ásia tenham desenvolvido e estabelecido políticas de redução da quantidade de resíduos gerados, há muitos países que ainda não gerenciam seus resíduos sólidos de forma adequada e dependem de lixões abertos para o descarte de seus resíduos. Os países em desenvolvimento ainda têm uma série de questões que precisam ser resolvidas relacionadas à gestão de resíduos sólidos. As necessidades mais críticas incluem falta de vontade de líderes políticos para lidar com o problema, falta de uma diretriz nacional relacionada à gestão de resíduos sólidos, ausência de regras e regulamentos, fundos insuficientes para resolver o problema, uma ausência de programas educacionais em todos os níveis e, por último, não existe ainda diretriz relacionada com a preservação ou criação de uma economia circular (Diaz, 2017).

O foco da EC em novos modelos de negócios para a gestão da cadeia de suprimentos, bem como na regeneração industrial e empregos, tem sido nos países desenvolvidos principalmente na União Europeia e na China, onde as estratégias da EC são mais avançadas e menos exploradas em países em desenvolvimento exceto a China (Preston et al., 2019).

A economia circular citada como uma das melhores soluções para apoiar o desenvolvimento sustentável é relativamente lenta, especialmente nos países em desenvolvimento, que coletivamente exercem alto potencial para serem as maiores economias e força de trabalho do mundo. Sendo assim, é fundamental garantir que o desenvolvimento dessas nações seja sustentável e não acarrete custos para as gerações futuras (Ngan et al., 2019).

O desenvolvimento sustentável é a maior preocupação para as economias em desenvolvimento e desenvolvidas, pois o crescimento econômico tem levado a recursos mais escassos e caros. Embora os países tenham estabelecido políticas públicas com foco em recursos e eficiência energética, há uma necessidade crescente de uma estratégia industrial coordenada capaz de criar riqueza sustentável por meio de uma gestão holística dos recursos naturais, capaz de desacoplar o crescimento econômico da extração de recursos e da deterioração natural (Scheel et al., 2020). Nesse sentido, os governos de cada país devem colaborar com diferentes atores das cadeias de suprimentos a fim de alcançar soluções sustentáveis. No entanto, diversos fatores influenciam a implementação da EC, nos países desenvolvidos e em desenvolvimento, como situações política, econômica, cultural, social, territorial, ecológica, conhecimentos, desenvolvimento tecnológico, contexto geográfico e o horizonte temporal (Merli et al., 2018).

Para um efetivo crescimento de EC nos países desenvolvidos e em desenvolvimento,

é recomendado um consumo reduzido, uma vez que a atual geração de resíduos per capita nos países desenvolvidos é maior do que nos países em desenvolvimento. Em segundo lugar, os países desenvolvidos precisam ajudar os países em desenvolvimento a lidar com as questões ambientais por meio da reutilização dos resíduos, transferência tecnológica de gerenciamento e reciclagem de resíduos, investimento em recursos e desenvolvimento e treinamento dos atores locais para mitigar possíveis riscos ambientais. Em terceiro lugar, é imprescindível, a implementação de sistemas de responsabilidade ampliada do produtor nos países desenvolvidos e em desenvolvimento para modelar e equilibrar a EC (Para Liu et al., 2018).

A mudança climática constitui um problema global com várias consequências que requer uma resposta urgente. As organizações internacionais devem procurar soluções mais sustentáveis para enfrentar os problemas ambientais. Em razão da impotência de alguns países em resolver os problemas ambientais, protocolos de acordos e convenções internacionais devem basear-se na participação conjunta dos países. O interesse pessoal dos países participantes dos acordos não pode prevalecer o interesse comum. Nesse contexto, os problemas ambientais precisam ser resolvidos por meio de novas teorias e práticas ambientais, como o modelo de EC, que traz uma nova oportunidade para a sociedade e a comunidade científica (Adrian, 2016).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nosso trabalho propõe lições e reflexões à luz das experiências dos países desenvolvidos em relação ao conceito da economia circular e sugere um aprofundamento do temático pelos pesquisadores nos países em desenvolvimento. Esse novo paradigma de EC é um conceito holístico que envolve todos os atores da sociedade. A EC precisa ser desenvolvida pelos atores das cadeias de suprimentos obedecendo às regras e a seus princípios. Para promover o conceito da EC, os governos devem adotar diferentes modos de políticas de gestão ambiental, tais como: coerção, colaboração, marco regulatório, voluntarismo. Diferentes práticas sustentáveis desenvolvidas nos países em desenvolvimento (México, Senegal, Brasil, Índia e China) seguem os padrões da EC implementados nos países desenvolvidos (Alemanha, Holanda e Japão). No entanto, a implementação de sistemas circulares está ainda no nível embrionário nos países desenvolvidos como em desenvolvimento (Merli et al., 2018; Diaz, 2017). Para mitigar os problemas ambientais, a redução de consumo de recursos naturais é imprescindível. Os países precisam adotar estratégias zero de resíduos, reduzindo e reciclando produtos descartáveis. Os países desenvolvidos precisam auxiliar os países em desenvolvimento, a lidar com questões ambientais, implementando estratégias 3Rs e 6Rs, como foram os casos da Alemanha, Japão, transferindo novas tecnologias de *cradle to cradle* (C2C), como foi o caso da Holanda. Portanto, nota-se que a China permanece o primeiro país no mundo,

onde as práticas de EC são as mais avançadas.

REFERÊNCIAS

Adrien, L. (2016). *Quels sont les modes de gouvernance utilisés par les autorités pour favoriser l'insertion de l'économie circulaire au sein d'un territoire ?*

Andersen, M. S. (2007). An introductory note on the environmental economics of the circular economy. *Sustainability science*, 2(1), 133-140.

Bakker, C., den Hollander, M., Van Hinte, E., & Zijlstra, Y. (2014). *Products that last: Product design for circular business models*. TU Delft Library.

Bardin, L. *L'analyse de contenu* (No. Sirsi) a456144). 1977.

Diaz LF. Waste management in developing countries and the circular economy. *Waste Management & Research*. 2017;35(1):1-2. doi:10.1177/0734242X16681406

European Commission. (2010). Comunicação da Comissão ao Parlamento Europeu, ao Conselho, ao Comité Económico e Social Europeu e ao Comité das Regiões – Uma Agenda Digital para a Europa. *Bruxelas. Documento de Trabalho*. [em linha]: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do>.

Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of cleaner production*, 143, 757-768.

Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner production*, 114, 11-32.

Gu, P. T., & Walckenaer, A. (n.d.). *10 INITIATIVES D'ÉCONOMIE CIRCULAIRE DANS QUATRE VILLES DE PAYS*. 1–65.

Guarnieri, P., Bianchini, A., & Rossi, J. (2020). The Institutionalization Of The Transition Towards Circular Economy: A Comparison Between Italy And Brazil. *Sum 2020 / 5th Symposium On Urban Mining And Circular Economy / 18-20 November 2020 / Venice, Italy*.

Guérin-Calmettes, Antoine Walckenaer, 2016. *Etude de 10 initiatives d'économie circulaire dans quatre villes de pays en voie de développement*. 2016. source: <http://www.recube.fr/>. acesso em 01 aug. 2019.

Korhonen, J., Honkasalo, A., & Seppälä, J. (2018). Circular economy: the concept and its limitations. *Ecological economics*, 143, 37-46.

Koubi, V., Spilker, G., Schaffer, L. M., & Bernauer, T. (2012). Environmental degradation and migration. *Available at SSRN 2107133*.

Lemos, P. (2018). Economia circular como fator de resiliência e competitividade na região de Lisboa e Vale do Tejo. *Lisboa, CCDR LVT*.

- Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of cleaner production*, 115, 36-51.
- Liu, Z., Adams, M., & Walker, T. R. (2018). Are exports of recyclables from developed to developing countries waste pollution transfer or part of the global circular economy? *Resources, Conservation and Recycling*, 136, 22-23.
- MacArthur, E. (2013). Towards the circular economy. *Journal of Industrial Ecology*, 2, 23-44.
- Merli, R., Preziosi, M., & Acampora, A. (2018). How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, 178, 703-722.
- Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of business ethics*, 140(3), 369-380.
- Ngan, S. L., How, B. S., Teng, S. Y., Promentilla, M. A. B., Yatim, P., Er, A. C., & Lam, H. L. (2019). Prioritization of sustainability indicators for promoting the circular economy: The case of developing countries. *Renewable and sustainable energy reviews*, 111, 314-331.
- Preston, F., Lehne, J., & Wellesley, L. (2019). *An inclusive circular economy: Priorities for developing countries*.
- Rouquet, R., & Nicklaus, D. (2014). *Études & documents Comparaison internationale des politiques publiques en matière d'économie circulaire*. 57. Retrieved from <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Comparaison-internationale-des.html>
- Rui, Z. (2007). L'organisation des services de gestion des déchets en Allemagne et aux Pays-Bas avec un aspect de son impact sur le marché national. En ligne sur le site de l'AgroParisTech http://www.agroparistech.fr/IMG/pdf/Rui_Zhang.pdf, consulté le 3 juin 2016.
- Sana, F., & Stokkink, D. (2014). L'économie circulaire: changement complet de paradigme économique?. Repéré sur le site de *Pour la Solidarité (European Think and Do Tank)* <http://www.pourlasolidarite.eu/sites/default/files/publications/files/na-2014- economie-circulaire.pdf>.
- Sauvé, S., Bernard, S., & Sloan, P. (2016). Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. *Environmental Development*, 17, 48-56.
- Scheel, C., Aguiñaga, E., & Bello, B. (2020). Decoupling economic development from the consumption of finite resources using circular economy. A model for developing countries. *Sustainability*, 12(4), 1291.
- Spilker, G., Schaffer, L. M., & Bernauer, T. (2012). Does social capital increase public support for economic globalisation?. *European Journal of Political Research*, 51(6), 756-784.
- Stahel, W., & Reday, G. (1976). *Report The Potential for Substituting Manpower for Energy*.
- Su, B., Heshmati, A., Geng, Y., & Yu, X. (2013). A review of the circular economy in China: moving from rhetoric to implementation. *Journal of cleaner production*, 42, 215-227.

Xiujun, J., Yongqing Z., & Luying, H. (2012). Analysis of Japanese Circular Economy Mode and its inspiration significance for China. *Advances in Asian Social Sciences*, 3(4), 1-7.

SUSTENTABILIDADE DE EVENTOS E O ENVOLVIMENTO DOS STAKEHOLDERS – CASO DE ESTUDO FEIRA DE LEIRIA

Data de aceite: 20/08/2021

Data de submissão: 06/07/2021

Sílvia Maria Carriço dos Santos Monteiro

Politécnico de Leiria, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, LSRE-LCM - Laboratório de Processos de Separação e Reação & Laboratório de Catálise e Materiais.
Leiria, Portugal.
orcid.org/0000-0002-3348-5556

Didier Rosa

Politécnico de Leiria, Escola Superior de Tecnologia e Gestão.
Leiria, Portugal.

Maria Lizete Lopes Heleno

Politécnico de Leiria, Escola Superior de Tecnologia e Gestão.
Leiria, Portugal.
orcid.org/0000-0001-8357-8630

RESUMO: Com o objetivo de integrar os princípios de desenvolvimento sustentável à Feira de Leiria, um evento com grande tradição nesta capital de distrito, foram considerados os princípios da norma ISO 20121:2012, que especifica os requisitos aplicáveis a um Sistema de Gestão na organização de eventos sustentáveis. Esta ferramenta de gestão voluntária permite a identificação e análise dos principais impactos positivos e negativos do evento, demonstrando que o envolvimento dos *stakeholders* no processo de implementação é fundamental para o sucesso na obtenção de um

evento sustentável. Este projeto englobou numa primeira fase a identificação dos *stakeholders* relevantes, a definição das questões de desenvolvimento sustentável, e a apresentação das medidas e ações para atingir os objetivos de sustentabilidade. Com base no método LiderA, foi possível avaliar a sustentabilidade da Feira de Leiria e fazer uma análise comparativa entre 2016 e 2017, após a implementação das ações propostas. Este projeto permitiu verificar uma melhoria de desempenho para 2017, assim como possibilitou afirmar que o envolvimento dos *stakeholders* é essencial para o seu sucesso, e que constitui um passo decisivo para o aumento da classe de sustentabilidade do evento Feira de Leiria. A fim de prosseguir com o ciclo de melhoria contínua da sustentabilidade, este trabalho também apresenta propostas de melhoria para as próximas edições do evento.

PALAVRAS - CHAVE: Gestão Sustentável de Eventos; *Stakeholders*; ISO 20121:2012; Método LiderA.

SUSTAINABILITY OF EVENTS AND THE INVOLVEMENT OF STAKEHOLDERS - CASE STUDY FEIRA DE LEIRIA

ABSTRACT: In order to integrate the principles of sustainable development to Feira de Leiria, an event with great tradition in this district capital, the principles of the ISO 20121:2012 were considered, which specifies the requirements applicable to a Management System in the organization of sustainable events. This voluntary management tool allows the identification and analysis of the main positive and negative impacts of the event, demonstrating that the

involvement of stakeholders in the implementation process is essential for the success of achieving a sustainable event. This project included, in a first phase, the identification of relevant stakeholders, the definition of sustainable development issues, and the presentation of measures and actions to achieve the sustainability goals. Based on the LiderA method, it was possible to assess the sustainability of Feira de Leiria and carry out a comparative analysis between 2016 and 2017, after the implementation of the proposed actions. This project allowed us to see an improvement in performance for 2017, as well as affirming that the involvement of stakeholders is essential for its success, and that it is a decisive step towards increasing the sustainability class of the Feira de Leiria event. In order to proceed with the cycle of continuous sustainability improvement, this work also presents improvement proposals for the next editions of the event.

KEYWORDS: Sustainable Event Management, *Stakeholders*; ISO 20121:2012; LiderA Method.

1 | INTRODUÇÃO

O planeamento de um evento sustentável requer a identificação e a compreensão dos principais impactes nas componentes ambientais, sociais e económica, de forma que o organizador fique capacitado para atuar nas diversas áreas com vista a alcançar a sustentabilidade. Para este fim recomenda-se o recurso a modelos de gestão dos eventos (Adema, 2010; Andersson, 2013). A norma ISO 20121:2012 é um dos modelos normalmente utilizados, sendo um instrumento voluntário, que especifica os requisitos aplicáveis a um Sistema de Gestão na organização de eventos, visando minimizar impactes negativos e potenciar impactes positivos, com o objetivo de integrar os princípios de desenvolvimento sustentável (ISO, 2012) (Figura 1).



Figura 1 – Pilares de Sustentabilidade.

A implementação de um Sistema de Gestão da Sustentabilidade de Eventos (SGSE), de acordo com a norma ISO 20121:2012 permite de uma forma sucinta i) a identificação dos principais impactes positivos e negativos do evento (abordando temas, como o uso de água, o uso de energia, a gestão de resíduos, o uso de solo, a qualidade do ar, o bem-estar e o desenvolvimento local); ii) o mapeamento das principais partes interessadas e a compreensão das suas expetativas e/ou preocupações; iii) a definição e a implementação de uma política para eventos sustentáveis; e iv) a adoção de critérios e metodologias para gerir de uma forma sistemática e eficaz os aspetos ambientais, económicos e sociais (BCSD Portugal, 2014).

A implementação do SGSE possibilita a certificação de eventos por entidades acreditadas e independentes, tendo em consideração as boas práticas aplicadas às atividades desenvolvidas, produtos e serviços. Atualmente, já existem eventos e espaços certificados pela norma ISO 20121:2012, no entanto o número ainda é reduzido (Lobato, 2014). Destacam-se dois exemplos de eventos certificados, de grande relevância, nomeadamente os Jogos Olímpicos e Paraolímpicos de Londres 2012 e o Rock in Rio (Rosa, 2018). Nos dois eventos foram desenvolvidos planos de sustentabilidade, com o objetivo de mitigar os potenciais impactes ambientais negativos dos eventos que ocorreram antes, durante e após a sua realização. Os compromissos assumidos nos planos de sustentabilidade basearam-se nas linhas orientadoras das alterações climáticas, gestão de resíduos, gestão dos espaços, mobilidade e acessibilidade, entre outros.

1.1 Requisitos normativos e o envolvimento dos *stakeholders* na sustentabilidade do evento

A aplicação dos requisitos do SGSE a um evento pressupõe que a organização deve estabelecer, implementar, manter e melhorar continuamente um sistema de gestão da sustentabilidade de eventos. No processo de implementação de um evento sustentável o envolvimento dos *stakeholders*, ou partes interessadas, é fundamental para o seu sucesso (Jones, 2017), referindo-se que o requisito 4.2 da norma ISO 20121:2012 determina que deverão ser compreendidas as necessidades e as expetativas das partes interessadas (pessoa ou organização que pode ser afetada, positivamente ou negativamente, por decisões ou atividades da organização). Realça-se que a implementação do SGSE origina benefícios aos *stakeholders*, particularmente no sentido de garantir que determinado evento foi planeado e desenvolvido de forma sustentável, gerando benefícios públicos, comunitários e económicos (APCER, 2021).

A organização ao apresentar um papel diferenciador, melhora a reputação e imagem do evento, e contribui para estabelecer objetivos e metas concretas para a redução de impactes negativos e potencializar os positivos ao nível dos três pilares da sustentabilidade, destacando-se a melhoria na eficiência de uso de recursos na cadeia de produção (ISO, 2012). Neste sentido o requisito 4.2 da norma ISO 20121:2012 refere ainda que

a organização deve estabelecer, implementar e manter um procedimento para identificar e envolver as partes interessadas sobre as questões de desenvolvimento sustentável identificadas. Assim a identificação e o envolvimento das partes interessadas são requisitos que potenciam a implementação eficaz de um SGSE, garantindo o seu sucesso, sendo igualmente importante estabelecer, implementar e manter um procedimento para identificar as questões de desenvolvimento sustentável, e avaliar a relevância destas tendo em conta as atividades associadas ao evento.

As partes interessadas podem incluir a entidade organizadora do evento, o “dono” do evento, os trabalhadores, os fornecedores, os participantes, o público, as entidades de regulação e a comunidade (ISO, 2012; Jones, 2017). Na identificação das questões de desenvolvimento sustentável a serem consideradas pelas organizações, estas devem sempre que possível abranger os três pilares da sustentabilidade (ambiental, social e económico), podendo a mesma questão englobar os três em simultaneamente. A norma ISO 20121:2012 apresenta uma listagem de questões, as quais se baseiam nos pilares da sustentabilidade descritos no requisito 6.1.2 “*Identificação e Avaliação de Questões*”:

- **Ambiental** - utilização de recursos, escolha de materiais, conservação de recursos, redução de emissões, biodiversidade e preservação da natureza, derrames para a terra e água, e emissões atmosféricas.
- **Social** - normas laborais, segurança e saúde no trabalho, direitos e liberdades fundamentais, justiça social, comunidade local, direitos indígenas, questões culturais, acessibilidades, equidade, património e sensibilidades religiosas.
- **Económico** - retorno sobre o investimento, economia local, capacidade de mercado, valor para os acionistas, inovação, impacto económico direto e indireto, presença de mercado, desempenho económico, risco, comércio justo e participação nos lucros.

1.2 Metodologia LiderA

A avaliação da sustentabilidade em diferentes áreas é cada vez mais um aspeto pertinente e de elevada importância, apelando à procura de ferramentas e sistemas que apoiem a criação e promoção da preservação dos ecossistemas, sem descurar a componente social e económica. O sistema de avaliação de sustentabilidade LiderA é uma marca registada portuguesa, que visa contribuir para a criação e certificação de ambientes construídos sustentáveis (LiderA, 2021).

A metodologia de avaliação de sustentabilidade utilizada neste trabalho teve por base o método LiderA adaptado (Dias, 2013; Lobato, 2014), o qual é organizado por 6 vertentes que correspondem às áreas de intervenção (integração social, recursos, cargas ambientais, serviços, dinâmica socioeconómica e gestão do uso sustentável), que direcionam a avaliação da sustentabilidade. Para operacionalização deste sistema, associado a cada vertente são definidos os aspetos a avaliar e para cada aspeto, são

estabelecidos um ou mais critérios específicos que permitem orientar a avaliação para obtenção do nível de sustentabilidade. O resultado final da avaliação dos critérios desta metodologia permite classificar os eventos numa das 9 classes de desempenho (A++, A+, A, B, C, D, E, F, G), distinguindo os eventos em diferentes níveis de sustentabilidade, sendo a classe A++ a mais eficiente (Dias, 2013; Lobato, 2014).

2 | CASO DE ESTUDO – FEIRA DE LEIRIA

A Feira de Leiria, também localmente conhecida como Feira de Maio, é um evento com longa tradição e de grande relevância para o Município de Leiria. O evento é caracterizado pelas tradicionais diversões, gastronomia, atividades económicas, espaço associativo e Leiria Festival. Este estudo foi desenvolvido no evento que decorreu em 2017, com a informação de base do ano anterior. Em 2016, o evento decorreu numa área aproximada de 50 000 m², com a presença de cerca 230 expositores e um total de cerca de meio milhão de visitantes (CCF, 2016).

Este estudo surge de uma parceria com a Câmara Municipal de Leiria, com o objetivo de analisar e discutir os aspetos necessários para a aplicação do referencial normativo ISO 20121:2012, permitindo avaliar a sustentabilidade do evento, a fim de minimizar impactes negativos e potenciar impactes positivos (ISO, 2012; BCSD Portugal, 2014).

3 | METODOLOGIA

A metodologia definida para atingir os objetivos deste projeto incluiu 4 etapas (Tabela 1), que englobam a análise de informação e de documentação relativa à edição do ano anterior deste evento, definição e implementação da metodologia LiderA (Lobato, 2014) adaptada para a avaliação do evento. Em função dos resultados obtidos na etapa 2, foram definidos novos objetivos e respetivas ações de melhoria para o evento de 2017, permitindo a replicação da metodologia de avaliação de sustentabilidade, de forma a avaliar o nível de sustentabilidade do evento em 2017, e estabelecer considerações sobre a eficácia das medidas implementadas (BCSD Portugal, 2014).

Etapa	Descrição
1. Análise de informação	Análise de documentos, práticas, registos relativamente ao evento da edição anterior.
2. Definição da metodologia de avaliação	A metodologia LiderA adaptada permite classificar o evento em estudo numa das 9 classes de desempenho (A++, A+, A, B, C, D, E, F e G), sendo a classe A++ a mais eficiente.

3. Definição do planejamento	Em função dos resultados obtidos na etapa 2, a organização definiu os objetivos e as respectivas ações de melhoria para o evento da Feira de Leiria de 2017.
4. Aplicação da avaliação de sustentabilidade	Nova aplicação da metodologia de avaliação de sustentabilidade, de forma a avaliar a eficácia das medidas definidas na etapa 3 e implementadas em 2017.

Tabela 1 – Etapas para avaliação da sustentabilidade da Feira de Leiria.

4 | RESULTADOS

A análise da informação relativa ao evento de 2017, assim como do evento do ano anterior, permitiu identificar os *stakeholders* relevantes no âmbito do SGSE envolvidos na Feira de Leiria 2017, de acordo com o apresentado na Figura 2.



Figura 2 – Stakeholders relevantes na Feira de Leiria.

Com o intuito de cumprir os requisitos normativos do SGSE, bem como avaliar a sustentabilidade da Feira de Leiria 2017, a análise documental possibilitou a identificação e seleção de seis questões de desenvolvimento sustentável, relevantes no âmbito das atividades desenvolvidas neste evento. Para cada questão foram estabelecidos os objetivos de sustentabilidade que a organização se comprometeu a alcançar (Tabela 2).

Questões	Objetivos
Resíduos	Classificação por tipologia e quantificação dos resíduos gerados durante o evento.
Água	Quantificação do consumo de água.
Ruído	Avaliação do ruído ambiental.
Energia	Controlo de energia elétrica.
Acessibilidade	Garantir acessibilidade para todos.
Comunicação	Garantir uma comunicação eficiente.

Tabela 2 – Questões e objetivos de desenvolvimento sustentável.

Para alcançar os objetivos definidos para as 6 questões, foram propostas um conjunto de 12 medidas a implementar e estabelecidos indicadores de desempenho, salientando que apenas é possível a sua concretização com o envolvimento dos *stakeholders*. A tabela 3 apresenta as medidas propostas e as ações realizadas para atingir os objetivos de sustentabilidade das seis questões, os resultados representativos destas ações, e *stakeholders* envolvidos.

	MEDIDAS PROPOSTAS	AÇÕES/RESULTADOS	STAKEHOLDERS ENVOLVIDOS
Resíduos	1. Envolver as partes interessadas para separação de resíduos em ecopontos	Disponibilização de contentores com a capacidade de 120 litros para a separação seletiva de resíduos; distribuição dos folhetos com informação para a adequada gestão de resíduos; colocação de 3 ecopontos de maior capacidade (1100 litros).	Trabalhadores Participantes Fornecedores
	2. Sensibilizar e disponibilizar condições para os concessionários sobre a recolha seletiva dos OAU	Disponibilização de recipientes para colocar os óleos alimentares usados (OAU). Como resultado desta ação foram recolhidos cerca de 79 kg de OAU e encaminhados para um operador autorizado.	Organizador do Evento Trabalhadores Participantes
	3. Verificar e quantificar a produção de resíduos recicláveis e indiferenciados	Realizaram-se verificações do volume de enchimento de cada contentor, para estimativa do volume de resíduos produzidos. A média de resíduos produzidos durante o evento foi de 1948 kg/dia, sendo que 1740 kg/dia correspondem a resíduos indiferenciados e 208 kg/dia são resíduos recicláveis, dos quais 127 kg/dia correspondem a papel/cartão, 37 kg/dia a plástico/metálico e 44 kg/dia ao vidro. Estima-se que nos 31 dias que decorreu o evento, foram produzidos cerca de 60 374 kg de resíduos.	Trabalhadores Participantes Fornecedores

Água	4. Implementar um processo de monitorização de consumos de água	Foi implementado um processo monitorização de consumo de água. Durante o evento foram consumidos 2 831 m3 de água, correspondendo a aproximadamente 66 m3 /dia.	Participantes Fornecedores
Ruído	5. Monitorizar ruído ambiental	Definiram-se 6 pontos na envolvente do recinto da Feira de Leiria, considerando-se a localização de recetores sensíveis. Apenas um ponto revelou ter um impacte significativo no ruído ambiente, com um aumento de 6 dB(A). Os outros pontos estudados não possuem um grande impacte apresentando variações inferiores a 3 dB(A).	Trabalhadores Público Comunidade
Energia	6. Sensibilizar para a utilização racional de energia	Sensibilização dos participantes para a utilização racional de energias; promoção de iluminação decorativa do recinto e dos divertimentos com tecnologia LED.	Trabalhadores Participantes Fornecedores
	7. Aplicar um processo de monitorização de consumos de energia	Só foi possível estimar o consumo de energia associado ao evento, a cerca de metade do total dos contadores que estavam instalados no evento, que correspondeu a um total de 373 061 kWh durante todo o evento.	Trabalhadores Participantes Fornecedores
Acessibilidade	8. Disponibilizar os meios e recursos para as pessoas com mobilidade reduzida	Colocação de rampas de acesso nas entradas do recinto e nas entradas das casas de banho.	Trabalhadores Participantes Fornecedores Público
Comunicação	9. Disponibilizar informação relativa ao evento sustentável	Distribuição de folhetos de sensibilização para a implementação do conceito de sustentabilidade à Feira de Leiria. Distribuição dos folhetos com informação para uma adequada gestão de resíduos.	Trabalhadores Participantes Fornecedores
	10. Promover o evento através de meios digitais	Promoção da Feira de Leiria em vários meios digitais e jornais locais. Utilização de redes sociais para promover a Feira de Leiria.	Organizador de Eventos Trabalhadores Participantes Fornecedores Meios de comunicação
	11. Avaliação do desempenho dos participantes	Foi desenvolvido um grupo de questões relativas à sustentabilidade a serem aplicadas em eventos de edições posteriores.	Organizador de Eventos Participantes
	12. Avaliar a sustentabilidade do evento	Com base no método LiderA, foi possível avaliar a sustentabilidade da Feira de Leiria e fazer uma análise comparativa entre 2016 e 2017, após a implementação das ações propostas. A Feira de Leiria em 2016 obteve uma classe de desempenho B e 2017 obteve uma classe de desempenho A (Tabela 4).	Todos

Tabela 3 – Medidas, ações, resultados e *stakeholders* – Feira de Leiria.

A aplicação da metodologia LiderA adaptada permitiu identificar os pontos mais críticos no âmbito da sustentabilidade deste evento, informação pertinente e de elevada importância na decisão da definição das questões de desenvolvimento sustentável relevantes e respetivos objetivos (Tabela 2), assim como as medidas de sustentabilidade e ações a implementar (Tabela 3). Na última etapa deste projeto é essencial a verificação da eficácia das medidas de sustentabilidade propostas após a sua implementação, recorrendo à mesma metodologia de avaliação (Tabela 4).

VERTENTE	ASPETOS	CRITÉRIO	2016	2017
Integração Local	Solo	Integração e Valorização do Local	B	B
		Otimização ambiental da implantação	G	G
	Ecosistemas Naturais	Valorização e Preservação ecológica	G	G
	Paisagem e Património	Integração e Valorização paisagística	B	B
Recursos	Energia	Sistemas Energéticos	A	A
		Gestão de Carbono	G	G
	Água	Sistemas de Fornecimento de Água	D	B
	Materiais	Produtos/materiais de origem responsável	B	B
	Alimentos e Bebidas	Produção alimentar e acesso	B	B
Cargas Ambientais	Águas Residuais	Gestão de Águas Residuais	E	E
	Outras Emissões	Gestão de Emissões Atmosféricas Locais	C	C
		Gestão de Ruído	C	B
	Resíduos	Gestão dos Resíduos	B	B
Serviços	Qualidade Ambiental	Qualidade Ambiental	B	A
	Qualidade do Processo	Qualidade do Processo	A+	A+
	Gestão Logística	Gestão de Trabalhadores e voluntários	A	A
	Fornecedores	Gestão de Fornecedores	C	C
	Patrocinadores e Parcerias	Gestão de Patrocinadores e Parceiros	A	A

VERTENTE	ASPETOS	CRITÉRIO	2016	2017
Dinâmica Socioeconómica	Acessibilidade	Acesso para todos	A	A
		Acessos Eficientes	A	A
	Economia Verde	Atratividade económica e eco dinâmica local	C	C
		Preços Justos	G	G
	Integração e Interação social	Integração com a comunidade	A	A
		Responsabilidade Social	D	D
Gestão do Uso Sustentável	Controlo de Riscos	Proteção de Participantes	A+	A+
		Riscos Naturais	A++	A++
	Gestão Sustentável	Sensibilização	D	A
		Manutenção/gestão para a Sustentabilidade	G	B
		Governança e Monitorização	A	A++
	Marketing e Inovação	Marketing e Inovação	F	A
Classe Final			B	A

Tabela 4 – Avaliação da Sustentabilidade do Evento (Método LiderA).

Com base na Tabela 4 é possível verificar que as ações implementadas permitiram uma melhoria na classificação de global da Feira de Leiria 2017, passando de B para A, como resultado da melhoria de desempenho de vários critérios. É indubitável que as ações de sensibilização perante os *stakeholders* contribuíram para os resultados positivos obtidos na avaliação de sustentabilidade em 2017. Também a realização de processos de monitorização, cuja envolvimento dos *stakeholders* é essencial para o seu sucesso, constitui um passo decisivo para a melhoria da classe de sustentabilidade.

Após a implementação das ações descritas anteriormente, e tendo em conta os resultados obtidos através destas ações, torna-se pertinente identificar e propor melhorias para as próximas edições do evento, a fim de prosseguir com o ciclo de melhoria contínua da sustentabilidade. Neste sentido, as medidas de melhoria identificadas estão sistematizadas na Tabela 5.

Questões	Descrição das propostas de melhoria
Resíduos	<ul style="list-style-type: none"> • Reforçar a disponibilização de contentores de 120 litros, às tasquinhas, para a separação seletiva de resíduos e colocar mais contentores de 120 litros no recinto, nomeadamente a instalação de ilhas de ecopontos pelas ruas do mesmo. • Avaliar a periodicidade da recolha dos resíduos. • Reforçar as ações de sensibilização alusivas à separação seletiva de resíduos e conseqüente encaminhamento, junto de todos os participantes da Feira de Leiria. • Implementar um sistema de recolha de pilhas. • Promover o encaminhamento de uma maior percentagem para a reciclagem. • Monitorizar, verificar e quantificar a produção e a separação de resíduos da Feira de Leiria.
Água	<ul style="list-style-type: none"> • A organização deve procurar implementar uma solução para aumentar a rede de saneamento disponível no recinto a fim de evitar a utilização indesejada da rede pluvial. • Utilizar uma alternativa de abastecimento de água para evitar a ligação às bocas de incêndio. • Instalação de mais contadores de água no recinto para identificar zonas de maior consumo. • Monitorizar os consumos de água.
Ruído	<ul style="list-style-type: none"> • Prosseguir com a monitorização do ruído ambiente exterior e tomar medidas para reduzir emissões de ruído verificadas.
Energia	<ul style="list-style-type: none"> • Preceder à monitorização de consumos energéticos da Feira e implementar medidas de redução de consumos. • Sensibilizar os expositores dos stands à utilização racional de energia. • Aumentar as condições de ligações elétricas na zona dos dormitórios.
Acessibilidade	<ul style="list-style-type: none"> • Colocação de sinaléticas, sinais sonoros, visuais ou outros tipos de informação (generalização da informação táctil e em braille). • Aposta na procura de soluções inovadoras, que não só contribuam para o bom desempenho do evento, para uma boa imagem de marca. • Realização de inquéritos aos visitantes do evento para perceber se a comunidade tem conhecimento das iniciativas realizadas na Feira de Leiria.
Comunicação	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilização de informação relativa ao evento sustentável, com enfoque na fase de candidaturas aos <i>stakeholders</i>. • Promover o evento através de meios digitais. • Avaliar a sustentabilidade dos participantes.

Tabela 5 – Propostas de melhoria.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos neste trabalho permitem promover a sustentabilidade do evento, uma vez que há uma identificação dos impactes, sendo definidos objetivos e medidas de melhoria. De referir que neste trabalho, foi possível sensibilizar e motivar os *stakeholders* para a implementação de alguns dos requisitos da norma ISO 20121:2012. Contudo, ainda há trabalho a desenvolver para ser possível a implementação da norma na sua globalidade, com vista à certificação do evento. Face ao conjunto alargado e diversificado de *stakeholders* que a Feira de Leiria inclui, o seu envolvimento é fundamental para alcançar a classificação de evento sustentável, sendo também um desafio para todos os envolvidos.

Em suma, a gestão da sustentabilidade na Feira de Leiria ainda tem um longo caminho a percorrer, sendo necessário reforçar ações de sensibilização perante os *stakeholders*, assim como disponibilizar meios e incentivar para a separação de resíduos. A implementação do SGSE na Feira de Leiria encontra-se ainda numa fase inicial de implementação e é uma ferramenta importante para a gestão da sustentabilidade neste evento.

Torna-se importante, por parte da Câmara Municipal de Leiria, dar continuidade a este processo sendo uma mais-valia. Outra sugestão é a de alargar a ideia de implementação destes conceitos de gestão sustentável a outros eventos organizados pelo Município.

REFERÊNCIAS

ADEMA, K. L.; Roehl, W. **Environmental scanning the future of event design**. International Journal of Hospitality Management, Philadelphia, v. 29, n. 2, p. 199-207, 2010. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S027843190900125X>. Acesso em: junho de 2021.

ANDERSSON, T.; Lundberg, E. **Commensurability and sustainability: Triple impact assessments of a tourism event**. *Tourism Management*, Gothenburg, v. 37, p. 99-109, 2013. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261517713000034>. Acesso em: junho de 2021.

APCER – Associação Portuguesa de Certificação. Porto, Portugal. Disponível em: <https://apcergroup.com/pt/certificacao/pesquisa-de-normas/170/iso-20121>. Acesso em: julho de 2021.

BCSD Portugal – Conselho Empresarial para o Desenvolvimento Sustentável. **Guia para Eventos Sustentáveis** – versão consulta pública. Lisboa, Portugal. 2014. Disponível em: <http://www.bcsdportugal.org/publicacoes/guia/files/assets/downloads/publication.pdf>. Acesso em: julho de 2021.

CCF - Comissão Coordenadora da Feira. **Relatório Feira de Maio 2016**. Leiria: Câmara Municipal de Leiria, 2016.

DIAS, Marina Lourenço Nunes. **Contributo para modos de gestão de sustentabilidade de eventos**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente), Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2013. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395146020790/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20Contributo%20para%20modos%20de%20gest%C3%A3o%20de%20sustentabilidade%20de%20eventos.pdf>. Acesso em: junho 2021.

INTERNATIONAL ORGANIZATION for STANDARDIZATION. **ISO 20121: Event sustainability management systems – Requirements with guidance for use**, Geneva, ISI, 2012.

JONES, Meegan. **Sustainable event management: a practical guide**. 3. ed. Taylor & Francis. London. 2017. E-book. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781315439723/sustainable-event-management-meegan-jones>. Acesso em: junho 2021.

LiderA – **Sistema de Avaliação de Sustentabilidade**. Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, Lisboa. Disponível em: <http://www.lidera.info/?p=apresenta&RegionId=3>. Acesso em: junho 2021.

LOBATO, Elisabete Sofia Caetano. **Avaliação da gestão da sustentabilidade de eventos**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente). Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2014. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/844820067123983/Tese%20-%20Versao%20Final%2068298.pdf>. Acesso em: junho 2021.

ROSA, Didier. **Contributos para a implementação do conceito de evento sustentável à Feira de Maio de Leiria**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente) ESTG - Politécnico de Leiria, Leiria, 2018.

CAPÍTULO 3

ELECTROMAGNETIC SOLAR RADIATION CONVERSION USING RECTIFYING ANTENNAS RECTENNA: A CRITERION FOR TYPOLOGY OPTIMIZATION OF BOW-TIE, DIPOLE, SPIRAL, LOG- PERIODIC AND MEANDER

Data de aceite: 20/08/2021

Data da submissão: 29/06/2021

Nelmo Cyriaco da Silva

Dept. of Communication, School of Electrical
and Computer Engineering, University of
Campinas, Unicamp, State of São Paulo, Brazil
<http://lattes.cnpq.br/3966456355502627>

Luiz Carlos Kretly

Dept. of Communication, School of Electrical
and Computer Engineering, University of
Campinas, Unicamp, State of São Paulo, Brazil
<http://lattes.cnpq.br/3840617687938512>

ABSTRACT: This paper presents the establishment of a simple criterion for the nanoantenna design. The motivation for this research is to propose a design guideline to planar nanoantennas that could be applied to Rectenna devices. Due to the efficiency limits of solar cells, other solar energy converting technologies are becoming increasingly attractive. One of this promising device is the Rectifier-Antenna or Rectenna. It consists of a nanoantenna, it must operate in the Infra-Red spectra of solar radiation, with an embedded rectifier and filter. In this work, five types of nanoantennas are simulated: dipole, bowtie, spiral, log-periodic and Meander, these typologies were chosen because they are often cited in the literature. Attempting to circumvent the lack of criteria for planar nanoantennas for application in Rectenna systems, the criterion established here is to keep the total dimensions

equal for all types of nanoantennas, making a sphere of radius “a” limited to the different types of nanoantennas and that have approximately the same gain, which was compared to the simulated. The results determine that it is a reasonable criterion to obtain, in the first order, the best candidates for nanoantenna.

KEYWORDS: bowtie, dipole, log-periodic, nanoantennas, Rectenna, spiral, Meander.

CONVERSÃO DE RADIAÇÃO SOLAR ELETROMAGNÉTICA USANDO ANTENAS RETIFICADORAS RETENNA: UM CRITÉRIO PARA OTIMIZAÇÃO DA TIPOLOGIA DE GRAVATA BORBOLETA, DIPOLO, ESPIRAL, LOG-PERÍODICA E MEANDRO

RESUMO: Este artigo apresenta o estabelecimento de um critério simples para o projeto da nanoantena. A motivação para esta pesquisa é propor uma diretriz de projeto para nanoantenas planas que possam ser aplicadas a dispositivos Rectenna. Devido aos limites de eficiência das células solares, outras tecnologias de conversão de energia solar estão se tornando cada vez mais atraentes. Um desses dispositivos promissores é a Antena-Retificadora ou Rectena. Consiste em uma nanoantena, que deve operar no espectro infravermelho da radiação solar, com retificador e filtro embutidos. Neste trabalho, cinco tipos de nanoantenas são simulados: dipolo, gravata borboleta, espiral, log-periódica e Meandro, essas tipologias foram escolhidas por serem frequentemente citadas na literatura. Na tentativa de contornar a falta de critérios de nanoantenas planas para aplicação em sistemas

Rectenna, o critério aqui estabelecido é manter as dimensões totais iguais para todos os tipos de nanoantenas, tornando uma esfera de raio “a” limitada aos diferentes tipos de nanoantenas e que têm aproximadamente o mesmo ganho, que foi comparado ao simulado. Os resultados determinam que é um critério razoável obter, em primeira ordem, os melhores candidatos à nanoantena.

INTRODUCTION

The main objective of this research work is to establish criterion for comparison purposes among different topologies of nanoantennas intended to be applied in Rectenna a solar energy absorbing device. The Rectenna technology besides its original application to Photovoltaic energy conversion, its concepts can be equally applied to other sectors such as sensors in monitoring RF noise on Vehicular EMC concerns, by scaling down the frequency, for instance.

An alternative solar energy converter concept is the Rectenna device, which has reached very high efficiencies at microwave frequencies, [1] while at terahertz frequencies, it has been speculated that efficiencies exceeding the Shockley–Queisser limit are achievable [2]. Rectenna is a receiver for wireless power transmission, is now increasingly researched as a means of harvesting solar radiation, Figure 1. Tapping into the growing photovoltaic market, the attraction of the Rectenna concept is the potential for devices that, in theory, are not limited in efficiency by the Shockley–Queisser limit (33,7%).

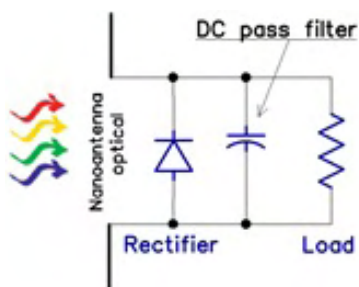


Figure 1 - Schematic model of a solar Rectenna.

For this research the first step is to use the Wheeler [3] relation is often expressed as: [4]

$$ka < 1 \tag{1}$$

k is equal $2\pi/\lambda$ (radians/meter)

λ is the free space wavelength (meters)

a the radius of a sphere enclosing the maximum dimension of the antenna (meters)

(Circumscribed sphere in the antenna)

The situation described by Wheeler is illustrated in Figure 2. The electrically small antenna is in free space and may be enclosed in a sphere of radius a . $ka < 1$. Figure 2.

The gain proposed by Harrington e Bancroft [5] [6] is given by:

$$G = (ka)^2 + 2(ka) \quad (2)$$

The criteria adopted here is to establish the Criterion Gain as $G_c = 2$ or equivalently to 3 dBi. Therefore, the calculated ka is equal to 0.732. The antennas were simulated approximately at frequencies around 250 – 550 THz or equivalently to 545 - 1200 nm located in the IR-A range of the solar spectrum.

So, a is kept constant for all antennas and is given by:

$$a = \lambda/8.583 \quad (3)$$

Where the λ is calculated for the central frequency of the mentioned above range. The classical candidates for Rectenna are: dipole, bowtie, spiral and log-periodic, Meander. [7]

For comparison purposes, the antennas are simulated with maximum dimension equal to $\lambda/8.583$. The various Rectenna formats are shown in Figure 3.

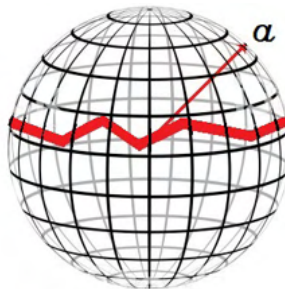


Figure 2 - The Wheeler's sphere radius "a".

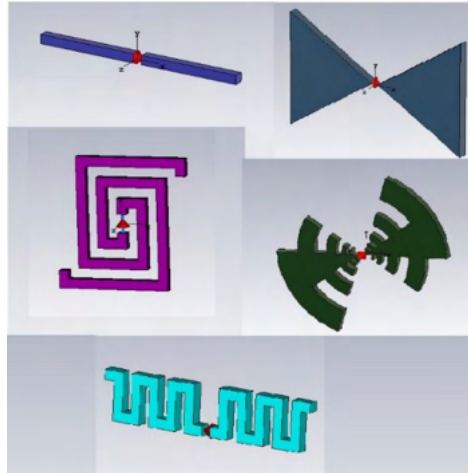


Figure 3 - Four antenna configuration: dipole, bowtie, spiral, log-periodic and Meander.

RESULTS

The radiation pattern of the various antennas are shown in Figure 4 to 7, and the tuning characteristics, f_0 , BW is depicted in Figure 8.

The antennas were previously optimized in gain for simulations but keeping the constraint of radius equal “a”.

All the antennas have 10nm metal thickness.

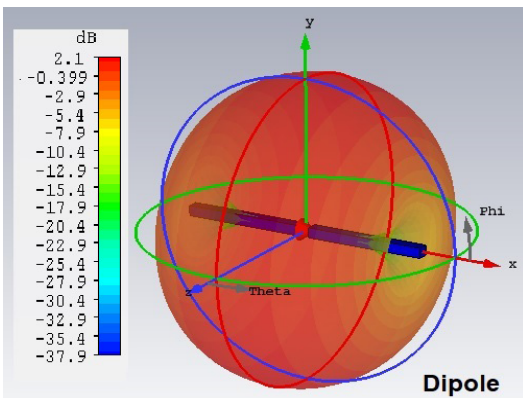


Figure 4 - Radiation Pattern for the Dipole nanoantenna.

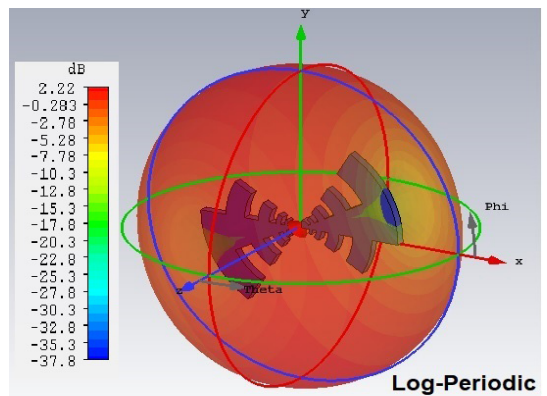


Figure 5 - Radiation Pattern of the Log-Periodic nanoantenna.

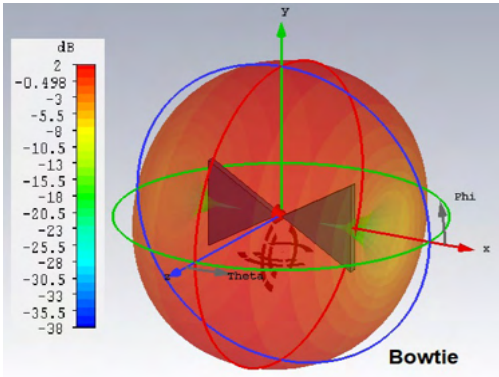


Figure 6 - Radiation Pattern of the Bowtie nanoantenna.

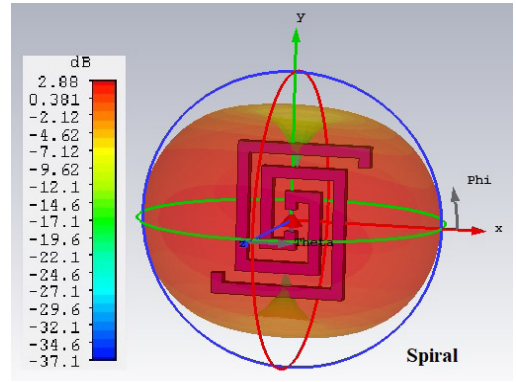


Figure 7 - Radiation Pattern of the Spiral nanoantenna. [6].

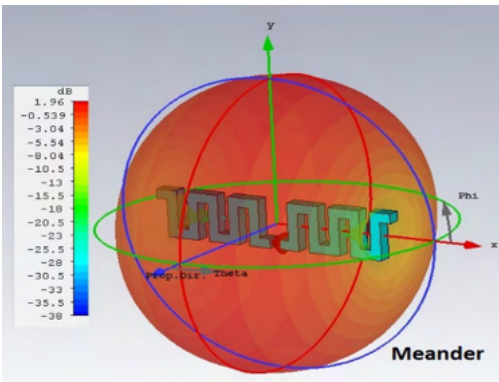


Figure 8 - Radiation Pattern of the Meander nanoantenna.

The simulated parameters such as f_0 , BW and Gc are summarized in the Table I:

Nanoantenna type	f_0 central frequency (THz)	BW (THz)	Gain (dB) simulated Gs @ f_0	Gain criterion Gc dBi	Gain ratio: Gs-Gc
Dipole	553	83.8 (15.1%)	2.1	3.0	-0.9
Bowtie	444	79.5 (17.9%)	2.0	3.0	-1.0
Spiral	520	95.1 (18.3%)	2.88	3.0	-0.12
Log- Periodic	381	47.0 (12.3%)	2.22	3.0	-0.78
Meander	423	57.0 (13.5 %)	1.96	3.0	-1.04

TABLE I Comparison performance among different nanoantenna types.

criterion: $G_c = (ka)^2 + 2ka = 2.0$ or 3 dBi (or $ka = 0.732$) see text.

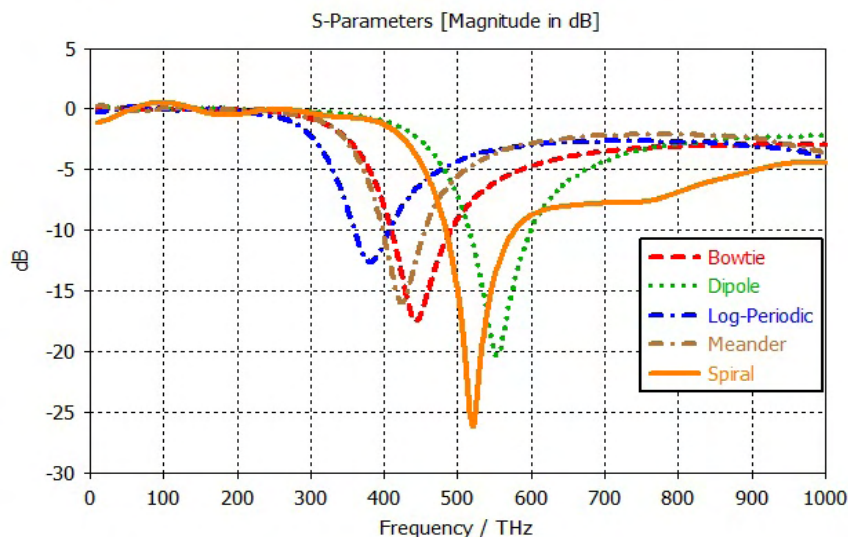


Figure 9 - The simulated return loss response for the nanoantennas.

Practically all the antennas were tuned the around the near infra-red band (0.7 - 1.0 μ m), As can be noted in fig. 4 to 8 all the simulated nanoantennas has no substrate or ground planes.

DISCUSSION AND CONCLUSION

This strategy to obtain a comparison criterion among different shapes of nanoantennas is a helpful tool for the designer, which is pursuing the best shape for Rectenna configuration. The Table 1 above shows clearly that the basic gain defined by equation (2) is a kind of landmark for the antenna's gain. The conclusion is that, under this criterion, the best Gain X BW product is associated to the antenna Spiral format. This is a trade-off between Gain and bandwidth.

Besides that, this criterion also allows to designer to identify different tuning frequency because the "ka" is fixed and not the central frequency. Another possible comparison criterion, which remains to further studies, could be: to maintain central frequency fixed and the antenna dimensions are adapted to this criterion.

More work is being done to verify physical validation.

ACKNOWLEDGEMENT

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001 to N.Cyriaco da Silva also, this research was financed in part by "Fundação de Desenvolvimento da Pesquisa Fundep Rota2030 /Linha V Projeto Rota2030 – Number 43 – FUNCAMP-Unicamp 5675 contract:

REFERENCES

- [1] A. M. Sabaawi, C. C. Tsimenidis and S. Brayan, "Analysis and modeling of infrared solar rectennas," *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*, vol. 19.3, 2013.
- [2] M. Garret and G. Sachit, "Rectenna solar cells," *New York: Springer*, 2013 Sep 16.
- [3] H. A. Wheeler, "Fundamental limitations of small antennas," *Proceedings of the IRE* 35.12, pp. 1479-1484., 1947.
- [4] M. N. Abdallah, "Electrically small antennas design challenges," *IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/URSI National Radio Science Meeting*, 2015.
- [5] R. F. Harrington, "Effect of Antenna Size on Gain, Bandwidth, and efficiency," *Journa l of Research of the National Bureau of Standards*, vol. Vol. 64D, no. A theoretical analysis is made of the effect of antenna size on parameters such as gain,, January- February 1960.
- [6] R. Bancroft, "Fundamental Dimension Limits of Antennas," *Centurion Wireless Technologies*, pp. 1-14, 2002.
- [7] F. J. González and G. D. Boreman., "Comparison of dipole, bowtie, spiral and log-periodic IR antennas," *Infrared Physics & Technology*, vol. 46.5 , pp. 418-428, 2005.

AVALIAÇÃO DA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA PARA APLICAÇÃO DE CÉLULAS MULTIJUNÇÃO

Data de aceite: 20/08/2021

Data de submissão: 06/07/2021

Thiago Antonio Paiva da Silva

Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais
Belo Horizonte - Minas Gerais

Patrícia Romeiro da Silva Jota

Centro Federal de Educação Tecnológica de
Minas Gerais
Belo Horizonte - Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/0977994271668461>

RESUMO: A transformação da energia do sol em energia elétrica é obtida através de células fotovoltaicas usando tecnologias diversas. Dentre as tecnologias mais promissoras estão as células do tipo multijunção (MJ). Esta tecnologia depende fortemente da composição espectral disponível no local de sua instalação. Consequentemente, sua aplicação exige uma análise mais criteriosa a respeito da composição do espectro solar incidente. Entretanto, medições de espectro solar requerem equipamentos específicos de difícil acesso. Sabe-se, porém, que a composição do espectro varia fortemente na faixa da radiação ultravioleta. Buscando analisar as diferenças existentes no espectro solar em vários pontos da terra sem medi-lo diretamente, o presente trabalho analisa a disponibilidade de radiação ultravioleta usando medições do Índice de Radiação Ultravioleta (IUV) de diversas localidades, facilmente obtido por estações meteorológicas.

Este trabalho relaciona o índice IUV com parâmetros geográficos como latitude e altitude, a fim de avaliar o efeito da localização geográfica no desempenho de células fotovoltaicas de multijunção. A relação direta da corrente fotogerada nas células MJ com as faixas distintas do espectro solar no processo de geração de energia indica que os painéis fotovoltaicos com concentrador a serem instalados em regiões de baixa latitude (região intertropical) e alta latitude (fora dos trópicos) podem ser otimizados por meio de uma compensação da junção intermediária, aumentando o aproveitamento da luz solar incidente e consequentemente a eficiência da MJ. Os resultados do presente estudo indicam que a energia que deixa de ser aproveitada em células multijunção instaladas em países como o Panamá e o Brasil, em geral, na zona intertropical e em áreas de elevada altitude são consideráveis (chegando a 25% superior) justificando a fabricação diferenciada de células MJ para estas localidades.

PALAVRAS - CHAVE: Células multijunção, espectro solar, radiação ultravioleta.

ULTRAVIOLET RADIATION EVALUATION FOR MULTIUNCTIONS CELLS APPLICATION

ABSTRACT: The transformation of the sun's energy into electrical energy is achieved through photovoltaic cells using different technologies. Among the most promising technologies are multi-function cells (MJ). This technology depends heavily on the spectral composition available in the location. Consequently, its application requires a more careful analysis regarding the composition

of the incident solar spectrum. However, measurements of the solar spectrum require specific equipment that is difficult to get hold of. However, it is known that the composition of the spectrum varies greatly in the ultraviolet radiation range. Seeking to analyze the differences in the solar spectrum at various points on the earth without directly measuring it, the present work analyzes the availability of ultraviolet radiation using measurements of the Ultraviolet Radiation Index (IUV) from different locations, easily obtained by weather stations. This work relates the IUV index to geographic parameters such as latitude and altitude, in order to evaluate the effect of geographic location on the performance of multi-function photovoltaic cells. The direct relationship of the photogenerated current in the MJ cells with the different bands of the solar spectrum in the energy generation process indicates that the photovoltaic panels with a concentrator that are yet to be installed in low latitude and high level can be optimized.

KEYWORDS: Multijunction cells, solar spectrum, ultraviolet radiation.

1 | INTRODUÇÃO

As Células Fotovoltaicas de Multijunção (MJ) exploram melhor a luz solar e aproveitam quase toda a faixa do espectro. A MJ representa uma evolução do painel fotovoltaico tradicional e consiste em uma pilha de subcélulas de materiais chamados III-V da tabela periódica. A linha corrente de arquitetura industrial é a célula de tripla junção constituída de fosfeto de gálio índio (InGaP), arseneto de gálio índio e germânio (Ge). Cada subcélula converte uma parte específica do espectro do sol, que define a responsividade da MJ de junção tripla. Essa grandeza relaciona a intensidade de corrente gerada por cada subcélula pela potência da luz incidente de um determinado comprimento de onda (Dominguez/2012), apresentado na Fig. 1.

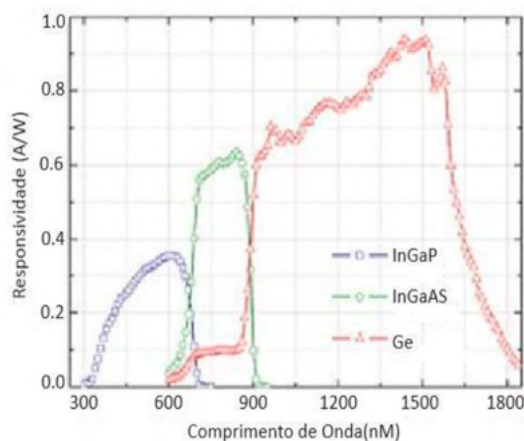


Figura 1 – Curvas de resposta espectral das subcélulas a 25° C. Adaptado (Dominguez/2012).

A responsividade define a geração de tensão e corrente em cada junção. À medida que as subcélulas estão ligadas em série, as tensões de cada subcélula são somadas e a tensão de saída do dispositivo é o total das parcelas, enquanto a corrente de saída é determinada pela menor das correntes produzidas (Messmer/2012) [16]. A Fig. 2 mostra a curva de potência da MJ de tripla junção.

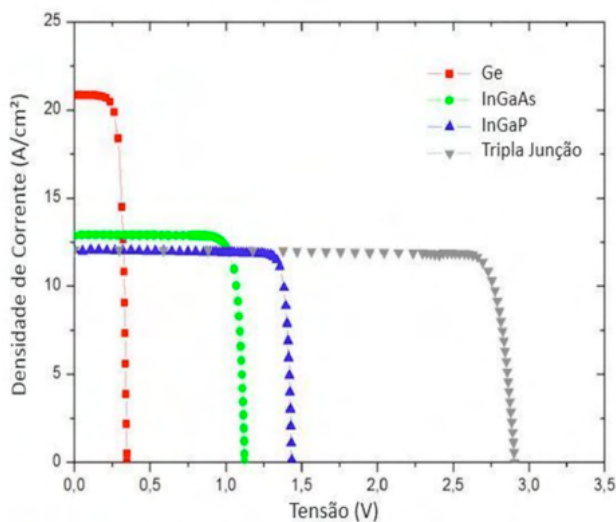


Figura 2 – Curvas características de uma célula fotovoltaica tripla junção. Adaptado (Messmer/ 2012).

Usando a resposta espectral, Fig. 1, o projeto da célula é otimizado buscando ajustar para que cada subcélula gere a mesma corrente sob uma distribuição espectral padrão. Na célula de tripla junção a corrente crítica é encontrada entre as subcâmaras superior e intermediária, sendo a base um substrato de germânio, que possui um excesso de corrente inerente. A relação de correspondência para as duas subcélulas é calculada pela razão entre as densidades de corrente obtidas da camada superior e intermediária. Esta relação é dada pelo parâmetro CM (do inglês, current-matching). A Fig. 3 apresenta a variação das correntes geradas nas subcélulas superior e intermediária.

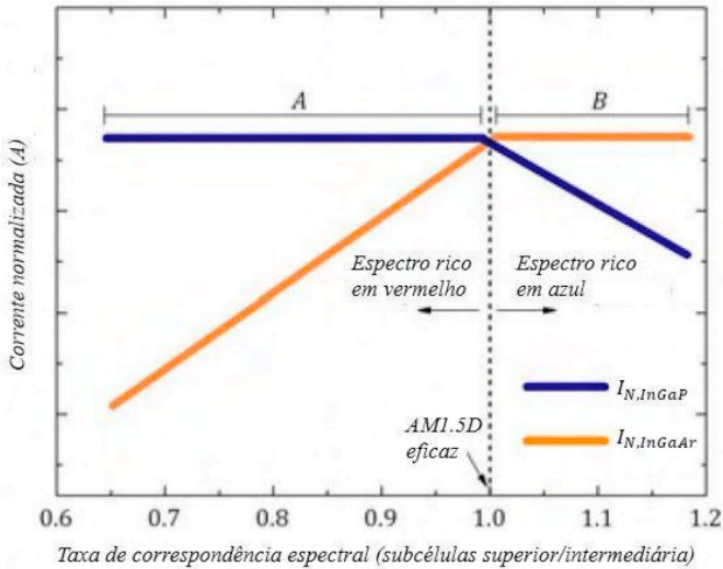


Figura 3 – Corrente normalizada gerada nas camadas superiores da MJ para espectros variantes entre o vermelho e o azul. Adaptado de (Dominguez/2012).

A comunidade PV (fotovoltaic) concordou em adotar uma distribuição espectral de referência para avaliar dispositivos fotovoltaicos sob as chamadas condições de teste padrão, STC (standard test conditions). Atualmente, a distribuição espectral mais amplamente adotada para avaliar dispositivos fotovoltaicos sob STC é a referência ASTM-G-173-03. No entanto, esse espectro raramente acontece fora do laboratório, onde o principal valor de interesse não é a eficiência sob a STC, mas a produção elétrica em condições de operação realistas (Philipps/2010).

O que define o espectro incidente de um local é a atmosfera que atua como um filtro, modificando a quantidade e a distribuição espectral. Essa atenuação depende da quantidade de substâncias percorridas pelos raios solares em seu curso através da atmosfera e das propriedades ópticas dos diferentes constituintes atmosféricos (Kasten/1989).

	Direta			Global		
	AM	PW(cm)		AM	PW(cm)	
UV	91%	70%	0%	84%	14%	0%
UV - Visível	59%	55%	3%	60%	19%	3%
Infravermelho	30%	27%	21%	35%	10%	21%

Tabela 1 – Atenuação dos Espectros global e direto produzidos pelas variações dos valores de massa de ar, profundidade óptica de aerossol a 550 nm e de água precipitável.

Fonte: (Eitbaakh/2012).

Do espectro irradiado pelo sol, a região UV corresponde a faixa de comprimento de onda que vai de 100 a 400 nm e é dividida em três bandas: UVA (315–400 nm), UVB (280–315 nm), UVC (100–280 nm). Os pequenos comprimentos de onda da Radiação Ultravioleta fazem com que essa faixa do espectro seja mais sensível à massa de ar, aerossol e água precipitável (Eltbaakh/2012). Devido a isso, a radiação ultravioleta pode ser relacionada a parâmetros como a latitude e altitude, que corresponde a distância atmosférica percorrida.

A radiação UV é indiretamente medida através do IUV, "IUV solar global", que foi formulado pela Comissão Internacional de Iluminação (CIE). É uma medida de referência para a capacidade da radiação UV de induzir uma ação eritêmica na pele humana, definido para uma superfície horizontal (ISO 17166). O Espectro de ação eritêmica corresponde à "resposta" biológica da pele humana. O IUV é um número adimensional, de acordo com a Eq. 1 (Madronich/2007).

$$IUV = \frac{1}{25mW/m^2} \int E(\lambda) I(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

Onde:

IUV - Índice de radiação ultravioleta, adimensional;

E(λ) - Função espectro de ação eritêmica, adimensional;

I(λ) - Função irradiância UV na superfície terrestre em mW.m⁻¹

Estudos feitos no Brasil, com base nas medições de densidade de corrente da MJ de junção tripla e experimentos que avaliam a camada determinante da menor corrente confirmam a hipótese de que exista uma importante mudança no funcionamento deste dispositivo em regiões de clima tropical, e devido a isso, a energia do espectro não seja aproveitada em sua totalidade. Estes estudos definem para a MJ de junção tripla, a camada intermediária como subcélula limitante da geração de corrente para espectros medidos em Recife/PE–Brasil (Silva/2012) e Belo Horizonte/MG–Brasil (Timó/2015). O que justifica a elaboração de novos projetos de células MJ a serem instaladas em locais de clima tropical, visto que, as diferenças regionais são significativas.

O presente estudo caracteriza variações do espectro solar por parâmetros geográficos através do Índice de Radiação Ultravioleta (IUV).

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

As diferenças de quantidade de radiação UV em pontos distintos do globo terrestre podem ser mensuradas indiretamente por meio do IUV, medido por muitas estações meteorológicas no mundo. Este estudo visa relacionar as diferenças na composição do espectro, na faixa de luz ultravioleta por meio do índice mensurado em pontos distintos do globo terrestre.

Para efetuar as caracterizações desejadas, se fez necessário um levantamento de medições do IUV em locais que se diferenciavam significativamente pela latitude e

altitude, parâmetros geográficos que mais se relacionam com variações no espectro solar. A Fig. 4 apresenta um fluxograma da metodologia adotada.



Figura 4 – Fluxograma da Metodologia adotada para análise dos dados.

A cidade de Belo Horizonte/MG - Brasil foi previamente definida pelas pesquisas associadas a MJ efetuadas nesta cidade. A estação meteorológica instalada no prédio do CPEI/CEFET-MG, por meio de um sensor de UV, mede não apenas o índice como também a radiação UV.

As demais localidades foram definidas de acordo com a disponibilidade dos dados de medição e as coordenadas geográficas. Por meio de contribuições do (WOUDC) The World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre, um dos seis Centros de dados do mundo que fazem parte do programa Observatório Internacional da Atmosfera da Organização Meteorológica Mundial, os dados foram acessados.

Para avaliar a variação sazonal do IUV, foi necessário utilizar um intervalo de cinco dias no registro da medição dos máximos diários, visto que problemas diversos nas estações podem interromper o processo de medição. Esse método acelera o tratamento dos dados e despolui as imagens de diferenças desprezíveis. No caso da medição do quinto dia ser inexistente, o algoritmo considera o momento mais próximo de medição efetuada, anterior ou posterior. Se no quinto dia não houve medição, em seguida é avaliado o dia de medição mais próximo e registrado o valor e a data, após feito isso, os registros seguintes são realizados normalmente, com o mesmo espaçamento, considerando a data em que deveria haver medição.

Através de medições do Índice de Radiação Ultravioleta (IUV) e dos máximos diários registrados, pode-se estimar as diferenças de incidência UV de acordo com a localidade.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar a variação diária do IUV, escolheu-se duas cidades, Belo Horizonte/MG-Brasil e Davos-Suíça, pelo fato de os registros das medições efetuadas nessas cidades incluírem os valores de IUV medidos ao longo do dia. Foram avaliados dias próximos aos solstícios em Belo Horizonte, e solstícios em Davos. A Fig. 5 apresenta os resultados.

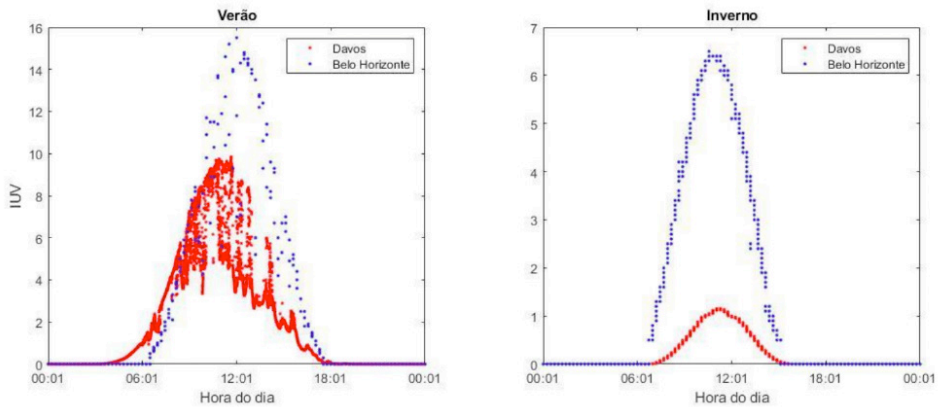


Figura 5 - Variação diária do IUV.

(02/01/2014 em Belo Horizonte – Brasil -- 21/06/2012 em Davos – Suíça – Verão).

(15/06/2014 em Belo Horizonte – Brasil -- 22/12/2012 em Davos - Suíça – Inverno).

Para o extremo verão, a média calculada foi de 6,82 em Belo Horizonte e de 2,79 em Davos, ou seja, 2,44 vezes maior. Os máximos obtidos foram de 15,5 e 9,84 respectivamente, ou seja 1,57 vezes. Para o extremo inverno, o IUV máximo belorizontino foi de 6,5 e de 1,2 em Davos, 5,41 vezes. As médias de inverno são 1,95 em BH e 0,29 em Davos, 6,61 vezes maior. Quando se compara os valores encontrados com o IUV do espectro padrão, que é 3,1, vê-se que a célula MJ irá se comportar de forma bastante distinta para cada localidade. Em Davos, ela vai operar no verão com a subcélula intermediária limitando e no inverno, a subcélula do topo é que vai limitar. Observa-se que o valor médio do IUV no verão em Davos é próximo ao do espectro padrão. Já no Brasil, esta célula irá operar sempre com a célula intermediária limitando já que teremos um excesso de UV durante todo o ano.

Avaliando longos períodos de medição, observa-se que a curva de máximos diários do IUV varia ciclicamente (o que torna válidas as comparações de períodos distintos entre as cidades). Duas cidades, com baixa latitude são avaliadas, David City e Panamá, ambas localizadas no Panamá, fig.6. Observa-se altos valores de IUV, com pequenas variações anuais. Estas cidades estão muito próximas a linha do equador e o efeito da declinação solar é suave. Os máximos ocorrem nos equinócios.

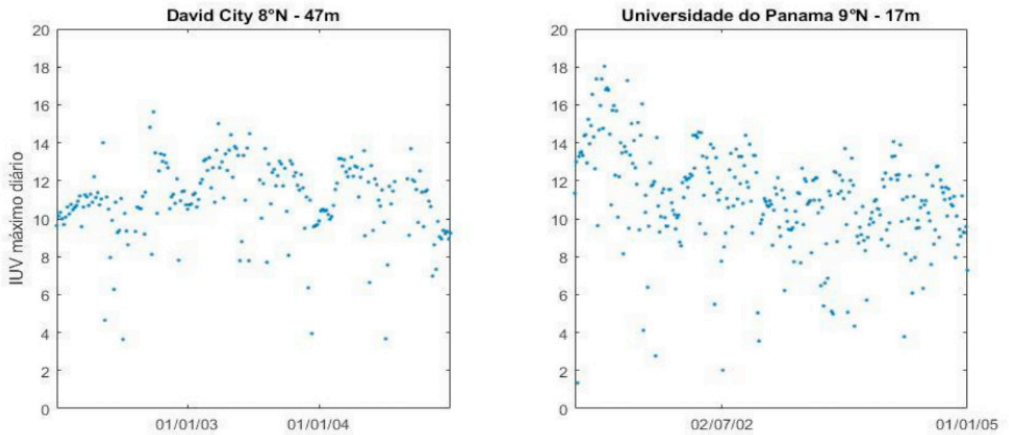


Fig. 6 – Máximos diários do IUV em (David City nos anos de 2002 a 2004).
(Cidade do Panamá nos anos de 2001 a 2005).

Deslocando-se mais para o sul, outras duas cidades são comparadas na fig.7. Os valores observados para o IUV em Belo Horizonte estão compreendidos entre 5 e 16, já em Buenos Aires tem-se valores mínimos bem baixo, próximos a 1, e máximos em torno de 12. Observando os valores médios, tem-se 6,5 para Buenos Aires contra 10 em Belo Horizonte. Quanto mais se afasta da linha do equador, maior amplitude da variação.

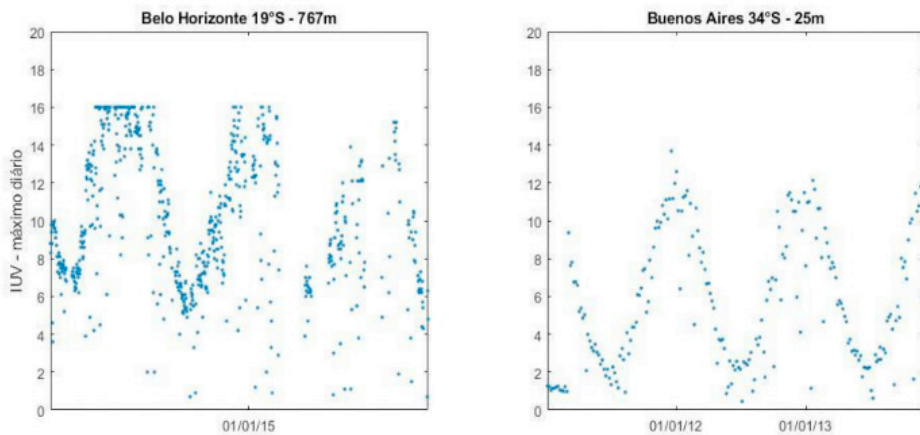


Figura 7 – Máximos diários do IUV em Belo Horizonte nos anos de 2013, 14, 15 e 16.
Buenos Aires - 2011, 2012 e 2013.

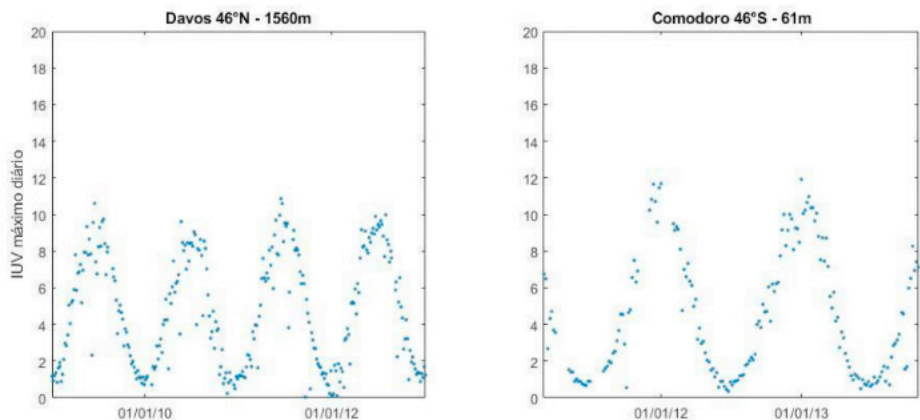


Figura 8 – Máximos diários do índice de radiação ultravioleta em Davos 2009 a 2013.

Comodoro Período compreendido entre 2010 e 2014.

Dois cidades com mesma latitude, porém em localização opostas N e S, são comparadas, fig.8. Comodoro Rivadavia na Argentina e Davos, na Suíça. Comodoro apresenta médias levemente superiores às médias apresentadas por Davos. A única diferença entre estas cidades é a altitude.

Outras duas cidades com latitudes semelhantes a Davos de diferentes altitudes foram analisadas, fig.9. Diekirsh em Luxemburgo e Belgrade na Bélgica. Observa-se valores muito baixos de IUV, comparados a Davos. Observa-se aqui um possível efeito da altitude neste índice. Este efeito é relatado por Coariti/2010, que compara frequência de ocorrência de índices IUV crescentes com o aumento da altitude em três cidades da Bolívia com mesma latitude (16°S): Coroico (1500m), La Paz (3800m) e El Alto (4100m). São verificados frequência de ocorrência de valores de IUV>8 em 39, 40 e 45% dos valores medidos.

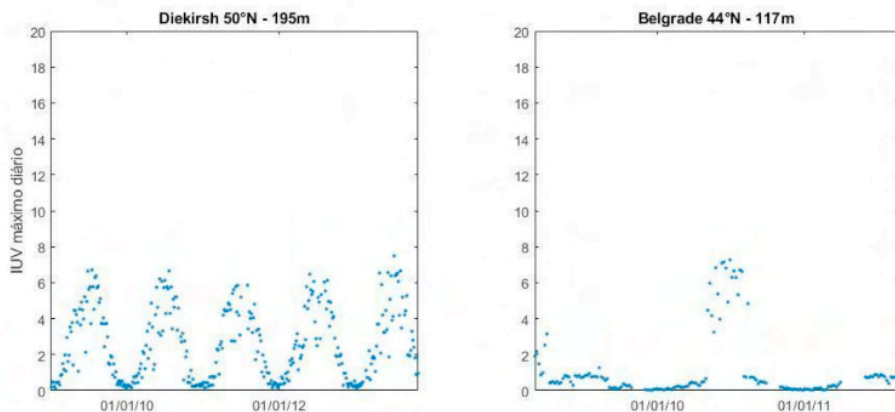


Fig. 9 – Máximos diários do índice de radiação ultravioleta em Diekirsh 2009 a 2014. Belgrade no período compreendido entre 2009 e 2011.

A Tab. 2 apresenta um resumo dos dados analisados. As cidades foram dispostas em ordem decrescente em termos das médias anuais.

Localização	David City	Panamá	Belo Horizonte	Buenos Aires	Davos	Comodoro	Diekirsh	Belgrade
Latitude	8°25'38" N	8°59'36" N	19°48'57" S	34°36'30" S	46°48'15" N	45°52'00" S	49°52'04" N	44°49'12" N
Altitude	47m	17 m	767 m	25 m	1560 m	61 m	195 m	117 m
Upper adjacente	15.6	16.9	16.0	13.7	10.9	11.9	7.5	1.5
Lower adjacente	6.6	5.4	0.7	0.45	0.03	0.4	0.03	0.01
Nº pontos	206	293	683	214	287	174	342	161
Período	01/2009 12/2011	01/2001 12/2004	01/2013 12/2016	01/2011 12/2013	01/2009 12/2012	01/2011 12/2013	1/2009 2/2013	01/2009 12/2011
Mínimo	3.6	1.3	0.7	0.45	0.03	0.4	0	0.01
Máximo	15.6	18.0	16.0	13.7	10.9	11.9	7.5	7.3
Percentil 75	12.4	12.5	13.5	8.3	7.8	7.0	4.3	0.8
Percentil 50	11.1	11.1	9.7	5.0	4.35	3.6	2.2	0.5
Percentil 25	10.1	9.6	7.3	2.6	1.7	1.4	0.7	0.15
Média	11.0	11.0	10.2	5.6	4.7	4.4	2.6	1.1
Outliers	6	16	0	0	0	0	0	23

Tabela 2 – Dados de medições do IUV medidos em diversas cidades (Siva/2019).

Foi possível confirmar o efeito da altitude no IUV comparando as cidades A expressiva altitude de Davos faz com que ele apresente altos valores para o IUV em relação a cidades de distância latitudinal semelhante, como Comodoro e Belgrade.

A observância de maior incidência UV em Dierkirsh em relação a Belgrade é explicada pela diferença de altitude, 78 m. Deve-se ater ao fato de que esses não são os únicos fatores que influenciam a incidência UV, como a formação de nuvens e a poluição. Entretanto, pode-se afirmar que a Latitude e a Altitude são parâmetros relacionados aos fatores que interferem diretamente.

4 | CONCLUSÃO

Este estudo relaciona a incidência de radiação ultravioleta na superfície terrestre por parâmetros geográficos e sua influência no desempenho de células MJ. A Latitude e Altitude de uma localidade podem ser diretamente relacionadas à composição do espectro solar local incidente.

A adoção do espectro padrão, ASM1.5, no projeto de células solares multijunção limita a quantidade de energia gerada e a eficiência da MJ. Foi possível observar que o IUV verificado no espectro padrão é superado por algumas cidades com alta latitude durante o verão, entretanto para cidades com latitudes menores, em regiões tropicais, verifica-se um excesso de UV, fazendo com que as células MJ operem na maior parte do tempo com a subcélula intermediária funcionando como limitante e não a do topo como esperado.

O ganho de energia dependerá de cada novo projeto. A otimização da MJ se faz mediante ao levantamento do espectro médio das localidades em que se deseja instalar a MJ.

REFERÊNCIAS

CIE Comissão Internacional de Iluminação. ISO 1716. **Erythema reference action spectrum and standard erythema dose**. Viena, 2019.

Coariti, J.R. , Corrêa, M.P. , Mancilla, M.S.J. , Effen, M.A., **Análise dos efeitos da radiação solar ultravioleta em populações altitudes**, XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2010.

Dominguez, C.; Anton, I.; Sala, G.; Askins, S.; **Current-matching estimation for multijunction cells within a CPV module by means of component cells**. Progress in Photovoltaics, v. 21, n. 7, 1478-1488, 2012.

Eltibaakh, Y. A.; Ruslan, M.; Alghoul, M.; Othman, M.; Sopian, K.; Razykov, T. **Solar attenuation by aerosols: An overview**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 16, n. 6, 4264-4276, 2012.

Kasten, F.; Young, A. T. **Revised optical air mass tables and approximation formula**. *Applied Optics*, v. 28, n. 22, 4735-4738, 1989.

Madronich, S.; **Analytic Formula for the Clear-sky UV Index**. *Photochemistry and Photobiology*, v. 83, n. 6, 1537-1538, 2007.

Messmer, E. R. (2012); **Effect of the surrounding medium on solar cell efficiency**. In Arturo Morales Acevedo. (Eds.) *Solar Cell Efficiency vs. Module Power Output: Simulation of a Solar Cell in a CPV Module*. Espanha: IntechOpen, 2013.

Philipps, S. P.; Peharz, G.; Hoheisei, R.; Hornung, T.; Alabbadi, N. M.; Dirmoth, F.; Bett, A. W. **Energy harvesting efficiency of III-V triple-junction concentrator solar cells under realistic spectral conditions**. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, v. 94, n. 5, p. 869-877, 2010.

Silva, H. M.; Vilela, O. C.; Fraidenraich, N.; **Caracterização da densidade de corrente fotogerada por uma célula fotovoltaica multijunção através de medidas de radiação espectral**. Grupo de Fontes Alternativas. *Revista Brasileira de Energia Solar*, v. 3, n. 1, p. 54-61, 2012.

TIMÒ, G.; MELO, A. G.; JOTA, P. R. **Sun on Clean - Study of soiling effect and glass surface modification of concentrating photovoltaic (CPV) modules: Climate influence and comparative testing**. Acordo número ID: 295303. 2015.

Silva, Thiago Antônio Paiva, **Variação do Espectro Solar e seu Efeito em Células Solares Multi-Junção**, Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Elétrica, CEFET-MG, 2019.

ESTUDO DA VIABILIDADE DE CONVERSÃO DE ENERGIA MECÂNICA CORPORAL EM ENERGIA ELÉTRICA: NANOGERADORES

Data de aceite: 20/08/2021

Data de submissão: 06/08/2021

Pedro da Silva Farias

Universidade Federal do Triângulo Mineiro –
Brasil
Ribeirão Preto SP
<http://lattes.cnpq.br/5338342333905177>

RESUMO: Este projeto descreve uma abordagem para o estudo da geração de energia elétrica a partir da técnica TENG de transformação da energia mecânica dos movimentos do corpo humano em elétrico. Esta tecnologia compreende a produção de energia limpa a partir do princípio da triboeletricidade como uma saída elétrica para o carregamento de dispositivos elétricos de baixa potência, desencadeada por energia mecânica ambiental comumente disponível, como passos humanos, proporcionando potência instantânea suficiente para gerar carga externa e móvel telefones, tablets e outros dispositivos eletrônicos que requerem pequenas quantidades de energia. A viabilização da capacidade de geração de energia renovável limpa e eficiente é o objetivo deste trabalho, para que a praticidade de seu uso seja otimizada e possa ser no futuro uma alternativa viável de energia renovável como outra possibilidade de energia limpa. O aproveitamento da energia produzida pelo movimento humano pode se estender aos mais diversos ambientes, como escolas, academias, empresas, entre outros, pois os ambientes

coletivos permitem uma maior interação e uma maior produção de energia elétrica que pode ser utilizada pelos próprios estabelecimentos. , isso seria desperdiçado.

PALAVRAS - CHAVE: Energias alternativas. Triboeletricidade. Atividade metabólica.

FEASIBILITY STUDY OF BODY MECHANICAL ENERGY CONVERSION TO ELECTRICAL ENERGY: NANOGENERATORS

ABSTRACT: This project describes an approach to the study of electric energy generation from the TENG technique of transforming the mechanical energy from human to electric body movements. This technology comprises the production of clean energy from the principle of triboelectricity as an electrical output for the charging of low power electrical devices, triggered by commonly available environmental mechanical energy, such as human steps, providing sufficient instantaneous power output to generate external load and mobile phones, tablets and other electronic devices that require small amounts of energy. The feasibility of the clean and efficient renewable energy generation capacity is the purpose in this work, so that the practicality of its use can be optimized and may be in the future a viable alternative of renewable energy as another possibility of clean energy. The utilization of energy produced by human movement can be extended to the most different environments, such as schools, academies, companies, among others, since collective environments allow for greater interaction and a greater production of

electric energy that can be used by the establishments themselves, that would be wasted.

KEYWORDS: Alternative energies. Triboelectricity. Metabolic activity.

1 | INTRODUÇÃO

No último século, houve um aumento rápido e constante da demanda mundial de energia. Isto deveu-se a muitas razões, incluindo um aumento global da população mundial, desenvolvimento/industrialização de países emergentes, tecnologias novas e mais exigentes. Segundo a Agência Nacional do Petróleo (ANP), 2012) espera-se que a demanda mundial por energia atinja 18 bilhões de equivalentes de óleo por tonelada até 2035 sob as políticas atuais. O percentual de consumo de energia elétrica passou de 9% em 1973 para 18% em 2012 (ANNEL, 2007); em contraste, a necessidade de outras fontes de energia, petróleo, carvão ou gás natural, permaneceu o mesmo ou mesmo diminuiu no mesmo período de tempo. No futuro, a energia elétrica será, presumivelmente, a forma mais consumida de energia, e sua produção deve ser tão eficiente quanto possível para satisfazer a demanda crescente.

Energias renováveis a longo prazo são conhecidas também por energias sujas, visto que sua utilização gera sérios impactos ao meio ambiente e para a sociedade, podendo contribuir para o aumento do buraco na camada de ozônio, causando a destruição de ecossistemas, contribuindo para o efeito estufa, chuva ácida, entre outros.

Desde que os nanogeradores foram relatados pela primeira vez em 2006, eles atraíram grande interesse em todo o mundo, porque eles podem coletar diferentes energias usando diferentes nanomateriais. Muitos tipos de nanogeradores foram projetados e fabricados nos últimos anos (YANG et al., 2013). Em geral, eles podem ser classificados em três tipos: nanogeradores piezoelétricos, nanogeradores piroelétricos e nanogeradores triboelétricos. Entre eles, os nanogeradores triboelétricos (TENGs) são os mais promissores e valiosos devido à sua universalidade, multifunções e maior eficiência de conversão. Eles podem colher quase toda a energia mecânica do ambiente incluindo vibração, rotação, movimento humano, e fluxo de ar. Com base no efeito dos nanogeradores triboelétrico e indução eletrostática entre dois materiais de fricção com cargas opostas, os TENGs convertem a energia mecânica em eletricidade, conseguindo alimentar dispositivos eletrônicos móveis.

Segundo Wang (2014) um dos pioneiros no desenvolvimento da tecnologia de nanogeradores triboelétricos, existe energia mecânica de baixa frequência em todo o ambiente que pode ser usada para conduzir um TENG a pleno funcionamento. A maioria dos TENGs anteriores segundo Wang et al. (2012) era usado para coletar energia mecânica em uma única direção em alta frequência, ou para trabalhar com uma fonte específica de energia limitando, assim, suas aplicações. Para ampliar as aplicações, os TENGs devem ser projetadas para ter multifunções, pois o pressuposto é gerar células capazes de se recarregar ao capturar a energia mecânica proveniente de qualquer fonte como uma

caminhada, o sopro do vento, vibrações variadas e até mesmo as ondas do mar, que são simplesmente desperdiçadas.

Para Zhu et al. (2006), o nanogerador triboelétrico tem um grande potencial no campo de fabricação de sensores autoalimentados, pois o rápido desenvolvimento da economia e a melhoria do padrão de vida aumentou a demanda por dispositivos eletrônicos inteligentes capazes de ser flexíveis, miniaturizados e elásticos, como interações homem-máquina, pele eletrônica artificial e sistema de sensores. A maioria desses dispositivos é alimentada por baterias com as desvantagens de tamanho grande, peso elevado e vida útil limitada, dificultando a concepção moderna de mobilidade e sustentabilidade. Assim, o recurso de energia confiável e sustentável que fornece esses dispositivos permanece como um dos problemas mais cruciais. Além disso, energias renováveis e limpas, como eólica, energia solar e energia mecânica estão sendo desenvolvidas com urgência devido à crescente crise de escassez de energia e à deterioração do meio ambiente (BOFF, 2010).

Nesse sentido, este trabalho visa elucidar a aplicação desta tecnologia TENG a ambientes coletivos em que o gasto de energia mecânica possa ser contabilizado buscando estimar o quanto de energia elétrica pode ser obtido para, enfim, torná-los uma alternativa sustentável.

2 | MATERIAL E MÉTODO

Para elucidar a aplicação da tecnologia TENG através de uma descrição quantitativa da energia gasta pelo movimento mecânico corporal e avaliar a sua conversão em energia elétrica, realizou-se um trabalho de campo para a coleta da energia gasta em ambiente coletivo por meio de movimentos corporais. O trabalho de campo ocorreu na escola militar Tiradentes, através da coleta de dados e adequação das informações. A confecção dos resultados foram realizados através da observação dos alunos do 2º ano da escola militar Tiradentes sala 201, acompanhando-os em suas movimentações diárias (caminhadas) ao banheiro, bebedouro e refeitório. Para isso foi aplicado um questionário com perguntas básicas acerca das características de cada aluno (estatura, peso, idade, sexo, estado nervoso, presença ou não de hipo/hipertireoidismo, temperatura corporal e temperatura ambiente). A partir das respostas obtidas pelo questionário, do monitoramento das caminhadas e das adaptações equacionais (eficiência de Carnot, potência e equações de Howley e Franks et al. 2008), chegou-se a um modelo de equação para o grupo monitorado devidamente específicas. A etapa seguinte envolveu uma busca na literatura para escolha de dois dispositivos que servirão de modelo na conversão de energia mecânica em energia elétrica. Uma vez detalhados os modelos, os dados coletados serão aplicados e os resultados obtidos segundo as propriedades de cada dispositivo. Ao final, confrontar-se-ão os dados para discutir os achados da pesquisa em função de seu custo-benefício e de sua relevância no atual cenário em que a demanda por fontes de energia limpa é crescente.

2.1 Área de estudo

2.1.1 Aparelho de colheita de energia em calçados

A análise dos materiais utilizados na conversão da energia mecânica em elétrica que irá alimentar pequenos eletrônicos para sensores de redes partindo da confecção de um dispositivo eletrônico na palmilha de sapatos baseada nas condições mais otimizadas do experimento para geração de energia. Desta forma cada pessoa representada pelos grupos descritos a cima gerará uma quantidade de energia, que após passar por um processo de quantificação, será estimado pela energia captada que tipo de fonte esse dispositivo conseguirá alimentar e carregar considerando os modernos aparelhos de baixa potência (celulares e outros aparelhos portáteis), ficando totalmente independente das fontes de energia convencionais (petróleo, energia hidroelétrica).

Baseados em dados gerais já testados em dispositivos eletrônicos inteligentes e sensores de monitoramento de movimento o projeto foi confeccionado na coleta de dados em ambientes específicos já selecionados, que são escolas e academias, com pessoas de diferentes idades e comportamentos esportivos.

A aquisição energética é essencial para sobrevivência dos seres vivos no ambiente, a variação entre o que é adquirido com a alimentação e o que é perdido com o funcionamento anatômico corporal é denominada gasto energético total. Esse gasto depende segundo D. Roberto et al. de três variantes: Taxa metabólica basal (TMB) ou de repouso (TMR), que é o gasto energético mínimo necessário para sobreviver em repouso e manter os processos vitais.

Representa mais ou menos 60 à 75% do GET. Efeito térmico dos alimentos (ETA) Valor da digestão, absorção, metabolismo e armazenamento dos nutrientes. Representa mais ou menos 10% do GET.

Gasto da atividade física (GAF) Energia gasta em exercícios físicos e atividades físicas voluntárias ou involuntárias e avaliação da atividade e do exercício físico.

$$\text{GET} = \text{TMB(R)} + \text{ETA} + \text{GAF}$$

Tais fatores são dependentes do desenvolvimento natural do organismo, que se adequam as funções desempenhadas por cada sistema e pela diferença de gênero, são elas:

- Tamanho corporal : \uparrow MIG - \uparrow TMB - Atletas possuem TMB 5% \uparrow
- Idade: Criança TMB \uparrow (1-2 anos de vida)
- Envelhecimento TMR \downarrow 2% a 3% por década (após o início da maturidade)
- Sexo: ♀ TM \downarrow que o ♂ cerca de 5% a 10% (de mesmo peso e altura)
- Estado hormonal:

- Hiper/hipotireoidismo
- Estresse
- TM das ♀: flutua com o ciclo menstrual e durante a gravidez
- Outros fatores
- A febre ↓ TM em 13% p/ cada grau acima de 37 °C
- Temperatura ambiente TMB 5% a 20% ↑.

A estimativa do gasto de energia é proposta a partir de parâmetros matemáticos que visam relacionar o volume de oxigênio inspirado, o volume de gás carbônico expirado e a taxa metabólica (D. Roberto et al.) relacionada ao tempo.

A tabela abaixo apresenta a relação entre os componentes, que representam essa estimativa de gasto.

Expressões.	Conversões.	Operações.
VO ₂ (L / min)	Multiplica por 5,0 kcal L / min	VO ₂ × 5,0 = kcal
kcal / min	Multiplica por 1000 e ÷ peso	kcal*1000/peso(kg) = VO ₂ (ml/kg/min)
M ET VO ₂ (ml/ Kg / min)	Divide por 3,5 ml / Kg / min Minutos da atividade X 60	VO ₂ (ml)/3,5 = MET MET * 60min = kcal / h
kcal / Kg / h	Relativo ao peso corporal	

Tabela 1: taxa metabólica por volume de O₂ inspirado e CO₂ expirado.

Fonte: EEFERP – USP.

Assim:

1 L O₂ (VO₂ Absoluto) = 5 Kcal

1 Kcal = x 1000÷peso = VO₂Relativo

VO₂Rel = 1MET x 3,5

1 MET = tempo atividade (min) x 60

1 MET = 1,25 kcal/kg/min.

O calculo associado a taxa metabólica basal é representada pela equação de Harris-Benedicte, que diferencia a quantidade de energia gasta pelo gênero, como descrito

na tabela abaixo.

GÊNERO	EQUAÇÃO (kcal/dia)
Masculino	$66,4730 + 13,7516 \times (\text{MCT}) + 5,0033 \times (\text{E}) - 6,7550 \times (\text{I})$
Feminino	$655,0955 + 9,5634 \times (\text{MCT}) + 1,8496 \times (\text{E}) - 4,6756 \times (\text{I})$

Quadro 1; Equação de HARRIS-BENEDICT (1919).

MCT = massa corporal total atual em kg;

E = estatura em cm;

I = idade em anos.

Para caminhadas cotidianas (Howley e Franks et al. 2008), elaborou-se equações que permitem calcular a energia gasta pela movimentação convencional sem finalidade esportiva. Seus cálculos seguem o padrão das demais equações, obter um resultado aproximado do valor energético perdido por cada passo.

Caminhadas:

$$1 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1} \text{ superfície horizontal} = 0,1 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$1 \text{ MET} = 3,5 \text{ mL O}_2 \text{ ou } 1 \text{ Kcal} \times \text{peso} \times \text{h}$$

$$\text{O}_2 \text{gasto} = 0,1 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} (\text{velocidade horizontal}) + 3,5 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

Quanto METs e o VO₂ estimados em uma caminhada de 90 m por minuto?

$$\text{O}_2 \text{gasto} = 0,1 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} (90 \text{ m/min}) + 3,5 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1} \text{ O}_2 = 12,5 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$\text{MET} = 12,5 \div 3,5 \text{ mL} \cdot \text{Kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$$

$$\text{MET} = 3,6$$

$$\text{Energia gasta com a atividade (Kcal)} = \text{MET} \times \text{Peso} \times \text{Tempo de atividade (min)}/60$$
$$3,6 \times 80 \text{kg} = 288 \text{Kcal}$$

3 | RESULTADO E DISCUSSÃO

Considerando a soma geral das potências produzidas pelos alunos através das movimentações diárias (caminhadas) dentro da escola, permitiram as seguintes comparações:

Potência total produzida em um dia: 9,405Kw.

Potência total produzida em um mês: $206,91 \text{Kw} \times 3 \text{h} = 630,73 \text{Kwh}$

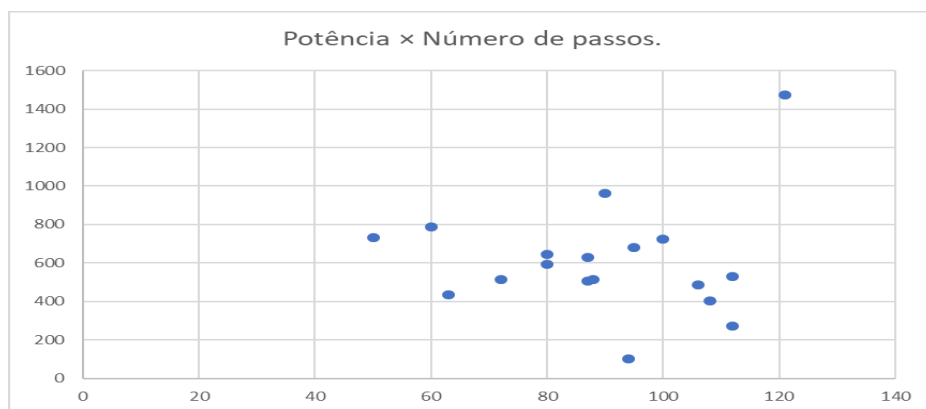
Aparelhos elétricos.	Potência média em watts	Consumo mensal (Kwh)
Lâmpadas fluorescente	15	2,2
Lâmpada fluorescente	23	3,5
Ventilador de Teto	130	28,8

Tabela 2: dados numéricos por aparelhos.

A estimativa total da energia produzida pela movimentação dos alunos da sala 201 durante o horário de aula que é desperdiçada, viabilizaria a manutenção de uma sala aula com energia mensal para 4 lâmpadas de 15w e um ventilador 130w, podendo sua eficiência variar com o número de alunos e as movimentações diárias.

Os gráficos produzidos procuram relacionar as características que influenciaram no crescimento da produção energética como, massa corporal, gênero, altura e número de passos.

O gráfico 1 abaixo relaciona a variação da potência com o número de passos produzidos pelos alunos durante sua movimentação (caminhada) dentro da escola.



As tabelas a seguir divididas por gênero servem de parâmetro aos gráficos 2 3 e 4 que relacionam a energia produzida as demais características citadas acima (massa, altura, gênero e número de passos) influenciando diretamente na quantidade de energia produzida.

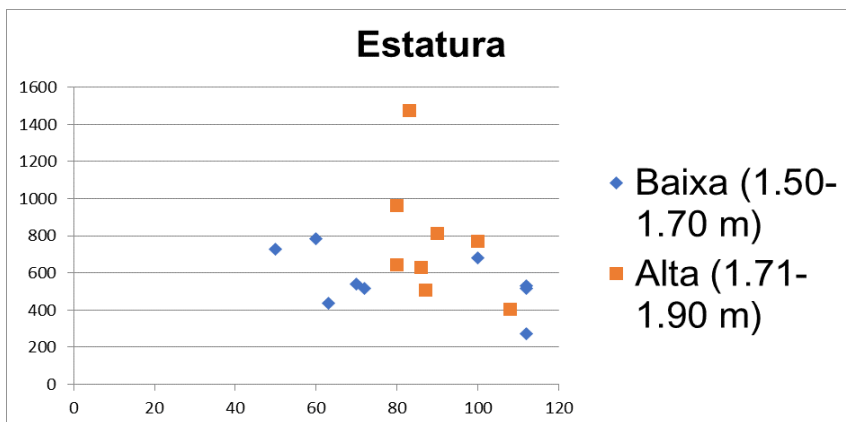
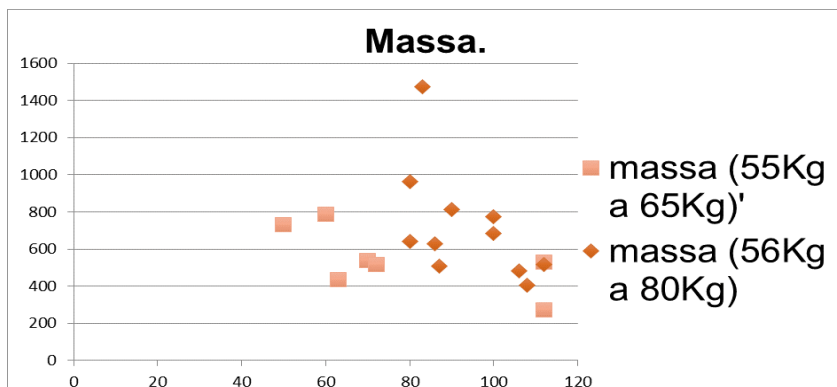
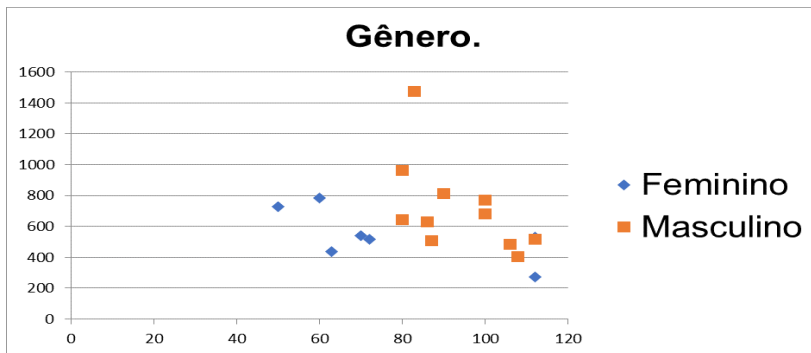
	número de passos	Potência em (Watts)	Altura em (metros)	Massa em (Kg)
Aluna 1	60	786,1	1,7	52
Aluna 2	70	539,1	1,57	47
Aluna 3	112	271,3	1,64	49

Aluna 4	72	515,55	1,65	49
Aluna 5	50	730,27	1,68	50
Aluna 6	63	434,9	1,61	49
Aluna 7	112	530,74	1,69	54

Tabela 4: referente a coleta de dados por gênero (feminino).

	número de passos	Potência em (Watts)	Altura em (metros)	Massa em (Kg)
Aluno 1	106	484,22	1,72	70
Aluno 2	80	643,3	1,71	68
Aluno 3	108	403,22	1,75	68
Aluno 4	100	772,27	1,73	70
Aluno 5	100	682	1,68	62
Aluno 6	80	961,9	1,84	77
Aluno 7	90	814,38	1,81	78
Aluno 8	112	514,8	1,62	68
Aluno 9	87	507,58	1,78	76
Aluno 10	83	1474	1,79	75
Aluno 11	86	627,4	1,82	78

Tabela 5: referente a coleta de dados por gênero (masculino).



4 | CONCLUSÃO

Concluiu-se que a viabilidade tecnologia TENG na transformação de energia mecânica em energia elétrica insere essa proposta de energia renovável como mais uma possibilidade de produção de energia limpa. O aproveitamento da energia produzida pela

movimentação humana, através de adaptações necessárias, associando as equações projetadas e trabalhadas ao decorrer deste trabalho (eficiência de Carnot, potência e equações de Howley e Franks et al. 2008), para coleta de um determinado tipo de atividade física (caminhada convencional sem finalidade esportiva) relacionada à proposta da triboeletricidade pode ser estendida para os mais diferentes ambientes como, escolas, academias, empresas entre outros, pois ambientes coletivos possibilitam uma maior interação e uma maior produção de energia elétrica que pode ser utilizada pelos próprios estabelecimentos aproveitando uma energia que seria desperdiçada e contribuindo com a proposta de desenvolvimento sustentável.

REFERÊNCIAS

G. Zhu, C. F. Pan, W. X. Guo, C. Y. Chen, Y. S. Zhou, R. M. Yu and Z. L. Wang, Nano Lett., 2012, 12, 4960.

G. Zhu, J. Chen, Y. Liu, P. Bai, Y. S. Zhou, Q. S. Jing, C. F. Pan and Z. L. Wang, Nano Lett. 2013, 13, 2282. G. Zhu, J. Chen, Y. Liu, P. Bai, Y. S. Zhou, Q. S. Jing, C. F. Pan and Z. L. Wang, Nano Lett., 2013, 13, 2282.; Shin, S. H.; Kim, Y. H. Galembek Fernando. **Higroeletricidade** Universidade de Campinas (UNICAMP) – 2010.

AGENEAL. (2018). Acesso em Junho de 2018, disponível em <http://www.ageneal.pt>

INATOMI, T. A. H.; UDAETA, M. E. M. Análise Dos Impactos Ambientais na Produção de Energia Dentro do Planejamento Integrado de Recursos. Seção de estudos estratégicos de energia e de desenvolvimento sustentável do GEPEA/EPUSP, p. 14. 2011.

GIUSTI, M. del C. H. Conflictos Ambientales en la Gestión del Santuario Historico de Machupicchu: El Caso de la Instalación y Manejo de la Central Hidroeléctrica Machupicchu. 2005. 189f. Tese (Master en Ciencias Sociales con Mencion en Gestion Ambiental y Desarrollo)- Escuela Andina de Post-Grado Maestria en Gestion Ambiental y Desarrollo. Cusco, 2005.

Lee, M. H.; Jung, J. Y.; Nah, J. Hemispherically Aggregated BaTiO₃ Nanoparticle Composite Thin Film for High-Performance Flexible Piezoelectric Nanogenerator. ACS Nano 2014, 8, 2766–2773.

S. H. Wang, L. Lin and Z. L. Wang, Nano Lett., 2012, 12, 6339. 7 S.M. Niu, S. H. Wang, L. Lin, Y. Liu, Y. S. Zhou, Y. F. Hu and Z. L. Wang, Energy Environ. Sci., 2013, 6, 3576.

Z. L. Wang, Sci. Am., 2008, 298, 82.; F. R. Fan, Z. Q. Tian and Z. L. Wang, Nano Energy, 2012, 1, 328.

AVALIAÇÃO DAS CONSEQUÊNCIAS DA INSERÇÃO DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA DISTRIBUÍDA DENTRO DAS REDES DE DISTRIBUIÇÃO

Data de aceite: 20/08/2021

Data de submissão: 05/07/2021

Gabriel Delian Silva Valadares

Universidade Federal de Sergipe (UFS)
Aracaju – Sergipe
<http://lattes.cnpq.br/3499864264454082>

Milthon Serna Silva

Universidade Federal de Sergipe (UFS)
Aracaju – Sergipe
<http://lattes.cnpq.br/4949867055036402>

RESUMO: Um dos principais indicadores de qualidade de vida e crescimento econômico é o consumo elétrico, uma vez que ele é de extrema importância para o desenvolvimento das sociedades atuais. Logo, a redução de perdas técnicas é necessária para resolver adversidades de qualidade do fornecimento. Nesse contexto, é utilizada a energia solar fotovoltaica como Geração Distribuída para estudar o impacto da sua inserção nos sistemas de distribuição de energia existentes. Esse artigo estuda um sistema extraído da NT 0057/2014 – SRD/ANEEL e o simula no *software* OpenDSS. Os resultados obtidos através das simulações foram divididos e comparados em cenários distintos. Posteriormente, foram observadas modificações ocorridas nos níveis de tensão nos pontos de carga selecionados para análise e comparadas com os limites estabelecidos pela ANEEL no Módulo 8 do PRODIST. Outrossim, uma análise concisa sobre as perdas nas

linhas e transformadores entre os segmentos escolhidos e do sistema foi realizada. A partir dessas análises, após a inserção da energia fotovoltaica houve apenas redução nas perdas técnicas, totalizando 2,35% de perda total ativa e 5,88% reativa. Porém, a partir das mudanças nas potências dos geradores, a redução é menor em determinados segmentos e em outros há aumento nas perdas, resultando em 2,57% de perda total ativa e 6,51% reativa. Em suma, a utilização do *software* OpenDSS para estudos de impactos na rede é uma alternativa para a redução de custos, a partir da diminuição das perdas técnicas e melhorias nos perfis de tensão. **PALAVRAS - CHAVE:** Software OpenDSS, geração distribuída, avaliação de perdas elétricas.

EVALUATION OF THE CONSEQUENCES OF THE INSERTION OF SOLAR PHOTOVOLTAIC GENERATION WITHIN DISTRIBUTION NETWORKS

ABSTRACT: One of the main indicators of quality of life and economic growth is electric consumption, since it is so important for the development of today's societies. Therefore, the reduction of technical losses is necessary to solve adversities of quality of supply. In this context, photovoltaic solar energy is used as Distributed Generation to study the impact of its insertion in existing energy distribution systems. This paper studies a system extracted from NT 0057/2014 - SRD/ANEEL and simulates it in OpenDSS software. The results obtained through the simulations were divided into different

scenarios and compared to each other. Subsequently, changes occurred in the voltage levels at the load points selected were analyzed and compared with the limits established by ANEEL in Module 8 of the PRODIST. Moreover, a concise analysis of the losses in the lines and transformers between the chosen segments and of the system was performed. Based on these analyses, after the insertion of photovoltaic energy there was only reduction in the technical losses, totaling 2.35% of total active loss and 5.88% reactive. However, based on changes in generator power, the reduction is lower in certain segments and in others there is an increase in losses, resulting in 2.57% of total active loss and 6.51% reactive. In short, the implantation of this software for studies of impacts on the network is an alternative for cost reduction, from the reduction of technical losses and improvements in voltage profiles.

KEYWORDS: Software OpenDSS, distributed generation, electrical losses evaluation.

1 | INTRODUÇÃO

De acordo com (Zilber, 2009), o advento da desregulamentação e da privatização na década de 90, trouxe novas condições de operação e de competição ao mercado de energia elétrica do Brasil. Este modelo de reestruturação teria como seu principal atributo a ascensão da concorrência em segmentos potencialmente competitivos, como é o caso da geração de energia, e mesmo de monopólios naturais, como o caso da distribuição de eletricidade. Por conseguinte, essas alterações causaram mudanças no setor elétrico brasileiro. Com o aumento da demanda de energia elétrica somado com a necessidade de atender os níveis de qualidade estabelecidos pela ANEEL, surge a necessidade de modificar a configuração atual de grandes centros de geração de energia, normalmente distantes dos centros de carga. E, uma maneira de modificar essa estrutura é a modernização dos sistemas de distribuição, tornando-os adequados para suportar a geração de energia elétrica, em específico, derivada de fontes renováveis. O aumento da confiabilidade na entrega da energia aos consumidores finais, redução das perdas técnicas, a diversificação da matriz energética, dentre outros são alguns exemplos dessa solução.

De acordo com DIAS et al. (2015), a geração distribuída é definida como o uso integrado ou isolado de recursos modulares de pequeno porte por concessionárias, consumidores e terceiros em aplicações que beneficiam o sistema elétrico e ou consumidores específicos.

A partir da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 tornou-se possível a geração de energia pelos consumidores interligados à rede da concessionária de energia. Tal norma cria o sistema de compensação de energia elétrica, que permite ao consumidor instalar formas de geração de energia descentralizadas como por exemplo: a instalação de módulos fotovoltaicos em residências ou empresas e trocar energia com a distribuidora local. Além disso, estabelece condições gerais aos sistemas de distribuição de energia elétrica para o acesso de mini (75 kW à 5 MW) e microgeração (< 75 kW).

Como ressaltado no Relatório de Perdas de Energia Elétrica na Distribuição em (ANEEL, 2019), as perdas técnicas são inerentes à atividade de distribuição de energia elétrica, pois parte da energia é dissipada no processo de transporte, transformação de

tensão e medição em decorrência das leis da física. Essas perdas, portanto, estão associadas às características de carregamento e configuração das redes das concessionárias de distribuição.

Logo, tem que existir o planejamento das distribuidoras para acompanhar o desempenho do sistema, avaliando a necessidade de intervenções para a maior eficiência. A melhoria do perfil de tensão e redução de perdas de potência real é fruto de uma geração distribuída devidamente planejada. A avaliação dos efeitos causados pela inserção da mesma na rede elétrica é de suma importância, uma vez que existe a possibilidade de haver uma inversão no fluxo de potência e flutuações na tensão e frequência, o que traz malefícios à rede conectada.

Este trabalho apresenta estudos referentes a um sistema de distribuição de energia elétrica extraído da NT 0057/2014 – SRD/ANEEL. Ademais, são realizadas simulações na rede de distribuição após a inserção da geração fotovoltaica e alterações na potência de determinados geradores e, com isso, é analisado parâmetros elétricos como: níveis de tensão, perdas nas linhas, transformadores e no sistema. Por fim, para as simulações supracitadas utilizou-se o software OpenDSS.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

O circuito elétrico extraído da NT 0057/2014 – SRD/ANEEL é um alimentador de distribuição em 13,8 kV com dois circuitos de baixa tensão associados e dois reguladores de tensão. Para fins do cálculo de perdas na distribuição, propõe-se que a carga seja representada pelo modelo ZIP com 50% de potência constante e 50% de impedância constante para a parte ativa, e 100% de impedância constante para a parte reativa como demonstrado em (ANEEL, 2018). Na Figura 1 é ilustrada a topologia do circuito.

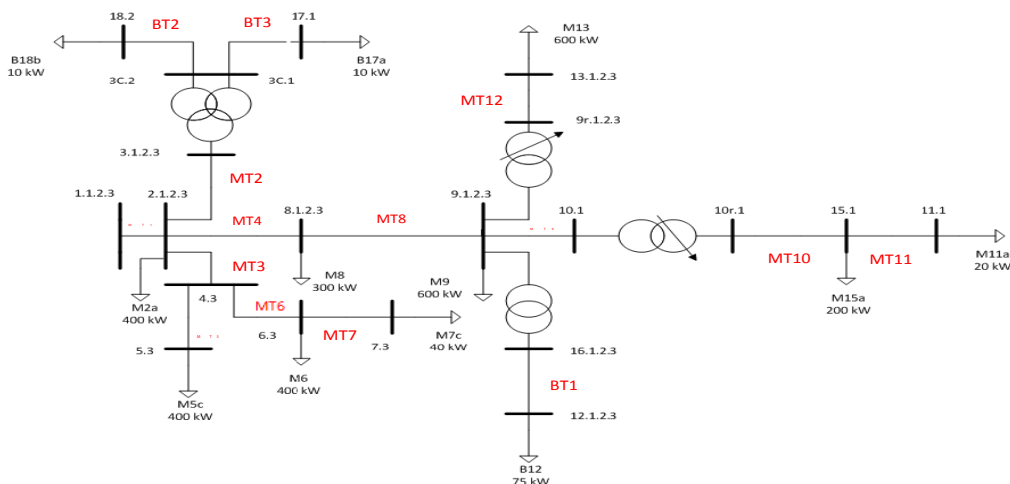


Figura 1 – Topologia do circuito. Adaptado de (ANEEL, 2018).

São modelados os circuitos de média tensão desde o barramento de saída da subestação de distribuição até as unidades consumidoras de média e baixa tensão, compreendendo os seguintes equipamentos existentes na rede: cabos, transformadores de distribuição e reguladores de tensão como abordado na topologia (ANEEL, 2018). Utilizando-se do software OpenDSS, que se trata de um programa executável e livre de simulação exclusivo para sistemas de distribuição de energia elétrica.

O Energymeter, cuja função de acordo com (ANEEL, 2018) é simular o comportamento de um medidor de energia real ligado ao terminal de um elemento do circuito, foi utilizado na conexão dos segmentos: MT1; MT2; MT5; MT7; MT9; MT10; MT12; BT1; BT2 e BT3 como salientado em vermelho na Figura 1.

A conformidade dos níveis de tensão deve ser avaliada nos pontos de conexão à rede de distribuição, com relação aos valores de referência, a tensão de referência (TR) deve ser a tensão nominal ou contratada. A comparação entre a TR e a medição possui três categorias: adequada; crítica e precária (ANEEL, 2010). A partir da Tabela 1, é possível verificar os valores de tensão, para sistemas com tensão nominal entre 1kV e 69kV, em regime permanente.

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão de Referência (TR)
Adequada	$0,93TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,90TR \leq TL < 0,93TR$
Crítica	$TL < 0,90TR$ ou $TL > 1,05TR$

Tabela 1 – Faixas aplicadas à Tensão Nominal superior a 1 kV e inferior a 69 kV.

Fonte: ANEEL (2010).

Pela Tabela 2, é possível verificar os valores de tensão, para sistemas com tensão nominal igual ou inferior a 1kV, em regime permanente.

Tensão de Atendimento (TA)	Faixa de Variação da Tensão de Leitura (TL) em Relação à Tensão de Referência (TR)
Adequada	$0,93TR \leq TL \leq 1,05TR$
Precária	$0,90TR \leq TL < 0,93TR$
Crítica	$TL < 0,90TR$ ou $TL > 1,05TR$

Tabela 2 – Faixas aplicadas à Tensão igual ou inferior a 1 kV.

Fonte: ANEEL (2010).

Vale ressaltar que a partir da referência (ANEEL, 2018) foram retirados os dados referentes a:

- Parâmetros e os comprimentos de cada tipo de cabo que interliga as barras com seus respectivos elementos e segmentos de rede;
- Parâmetros dos transformadores presentes no sistema, os tipos de conexão, perdas, impedâncias e potências nominais;
- Parâmetros dos dados do controle do Regulador de Tensão;
- Parâmetros das cargas presentes no sistema.

E, com isso, através de uma modelagem matemática, os parâmetros dos circuitos são definidos no OpenDSS.

Com o circuito modelado no software, fez-se necessário a inserção de unidades de geração solar fotovoltaica. São imprescindíveis as características dos geradores solares para modelagem matemática no OpenDSS. As informações são apresentadas na Tabela 3.

Gerador	Barras	Potência Nominal (kW)	Fator de Potência (FP)
PVM2a	2,1	400	0,92
PVM5c	5,3	400	0,92
PVM6	6,3	400	0,92
PVM7c	2,1	40	0,92
PVM8	8	300	0,92
PVM9	9	600	0,92
PVM11a	11,1	20	0,92
PVM15a	15,1	200	0,92

PVM13	13	600	0,92
PVB12	12	5	0,92
PVB17	17,1	10	0,92
PVB18	18,2	10	0,92

Tabela 3 – Potência Nominal dos Geradores.

Fonte: Autoria própria (2020).

Assim, os valores da potência nominal foram determinados para cada gerador e considerou-se um fator de potência 0,92, pois, segundo a Legislação Brasileira o fator de potência mínimo permitido é de 0,92.

Faz-se necessário obter os aspectos de radiação solar, uma vez que o perfil de incidência dos raios solares é de grande influência na quantidade de potência gerada. Logo, os dados de radiação foram obtidos através do NREL – *National Renewable Energy Laboratory referentes* a cidade Golden, no estado de Colorado, nos Estados Unidos, no dia 14 de julho de 2019. O site fornece dados em tempo real de radiação solar como pode ser visto em (NREL, 2019).

Para obter resultados coerentes quanto a simulação do sistema na presença de geração distribuída, foi realizado um tratamento nos dados de irradiância. Uma vez que, existem valores negativos e picos muito discrepantes. Dessa forma, esses valores supracitados são removidos para obter um perfil de geração mais uniforme.

Com o objetivo de observar os efeitos de uma geração distribuída mal dimensionada, fez-se necessário a alteração de alguns valores de potências dos geradores. Dessa maneira, certos valores da potência nominal da Tabela 3 foram alteradas como ilustradas na Tabela 4.

Gerador	Potência Nominal Original (kW)	Potência Nominal Modificada (kW)
PVM5c	400	20
PVM6	400	10
PVM11a	20	200
PVM13	600	20
PVB17a	10	80

Tabela 4 – Novos Valores de Potência Nominal dos Geradores.

Fonte: Autoria própria (2020).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o objetivo de simular mais de uma situação possível utilizando os parâmetros descritos na referência (ANEEL, 2018), cenários distintos foram modelados. O Cenário 1 diz respeito à rede de distribuição sem geração solar, o Cenário 2, à rede de distribuição com geração solar e, o Cenário 3, à rede de distribuição com geração solar com modificações nas potências de determinados geradores. Assim, é feito um comparativo entre os três Cenários supracitados.

Primeiramente, são comparados os valores das tensões das cargas M9, M2a e B12 do Cenário 1, 2 e 3. E com estes dados, é possibilitado a classificação da Conformidade da Tensão Elétrica, a partir dos valores disponibilizados através das Tabelas 1 e 2.

Segmento		pu Cenário 1	pu Cenário 2	pu Cenário 3
M9	V1	0.9668	0.9722	0.9753
	V2	0.982	0.9848	0.9816
	V3	0.9471	0.9556	0.9507
M2a	V1	0.9947	0.9958	0.999
	V2	-	-	-
	V3	-	-	-
B12	V1	1.003	1.01	1.008
	V2	1.005	1.012	1.011
	V3	1.014	1.02	1.018

Tabela 5 – Valores de tensão das cargas do Cenário 1, 2 e 3.

Fonte: Autoria própria (2020).

Na Tabela 5, é possível notar que os valores das cargas M9 e M2a comparadas com a Tabela 1 e o valor da carga B12 comparada com a Tabela 2, possuem seus valores de tensão dentro da classificação “Adequada”, seja o Cenário 1, 2 ou 3, ou seja os valores das cargas selecionadas para análise estão dentro dos limites definidos pela ANEEL no Módulo 8 do PRODIST. Além disso, nota-se que a instalação foi responsável por trazer benefícios quanto a variação de tensão, pois, os níveis de tensões se elevaram. Vale ressaltar que é necessário realizar monitoramentos constantes, para que não ocorra a ultrapassagem dos limites da tensão. Contudo, apesar dos níveis de tensão para o Cenário 3 não terem saído da classificação “Adequada”, a redução de perdas técnicas observadas nesse Cenário não foi satisfatória como será destacado a seguir.

Na Tabela 6 e na Figura 2, podem-se notar particularidades relevantes sobre as perdas nos transformadores e nas linhas observadas nos segmentos do sistema em questão.

Segmento	Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
	Perdas nas Linhas (kWh)	Perdas nos Transformadores (kWh)	Perdas nas Linhas (kWh)	Perdas nos Transformadores (kWh)	Perdas nas Linhas (kWh)	Perdas nos Transformadores (kWh)
MT1	514	24	177	19	285	24
MT2	0	2	0	1	0	8
MT5	22	0	7	0	21	0
MT7	0	0	0	0	0	0
MT9	9	11	3	11	3	11
MT10	15	0	5	0	10	0
MT12	36	0	13	0	35	0
BT1	0	0	0	0	0	0
BT2	1	0	0	0	0	0
BT3	2	0	1	0	50	0

Tabela 6 – Valores de Perdas nas Linhas e Transformadores entre os Cenários 1, 2 e 3.

Fonte: Autoria própria (2020).

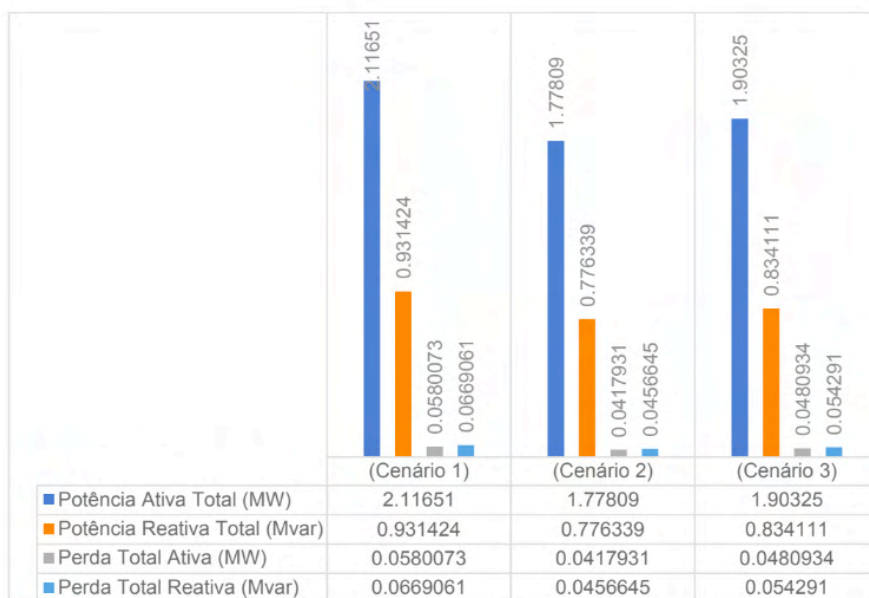


Figura 2 – Relatório de Perdas.

É possível observar pela Tabela 6, comparando o Cenário 1 com o Cenário 2, que todos os valores de perdas nas linhas foram reduzidos e o segmento que demonstrou melhores resultados foi o MT1 que teve um decréscimo de 337 kWh com redução percentual de 65,6%. Ademais, os percentuais de perdas nos transformadores tiveram uma redução considerável, sendo que o maior valor da redução foi também do segmento MT1 de 5 kWh

com redução percentual de 20,83%. Notando-se um aspecto positivo com a inserção da geração distribuída na rede em questão. Uma vez que, tais perdas técnicas representam custo para o setor elétrico e diminuí-las é de grande interesse tanto para os consumidores e geradoras.

Já comparando o Cenário 2 com o Cenário 3, pela Tabela 6, houve um predomínio no aumento das perdas nas linhas, e o segmento que demonstrou piores resultados foi BT3 que teve um acréscimo de 49 kWh com aumento percentual de 61,02%. Além disso, as perdas nos transformadores também demonstraram resultados não satisfatórios, sendo que o maior valor acrescido foi do segmento MT2 de 7 kWh com aumento percentual de 800%. Tais resultados demonstram que um sistema deve ser bem dimensionado para que seja posto em funcionamento.

Por fim, a partir da Figura 2, pode-se inferir que para o primeiro Cenário sua perda total ativa percentual comparada com a total é de 2,74% e reativa de 7,18%. Após a inserção da energia fotovoltaica houve apenas redução nas perdas técnicas, totalizando 2,35% de perda total ativa e 5,88% reativa. Porém, a partir das mudanças nas potências dos geradores, a redução é menor em determinados segmentos e em outros há aumento nas perdas, resultando em 2,57% de perda total ativa e 6,51% reativa.

4 | CONCLUSÃO

Este artigo apresenta estudos referentes a um sistema de distribuição de energia elétrica extraído da NT 0057/2014 – SRD/ANEEL. Ademais, são realizadas simulações na rede de distribuição após a inserção da geração fotovoltaica e alterações na potência de determinados geradores e, com isso, são comparados os níveis de tensão com os limites definidos pelo PRODIST (Módulo 8) e analisados as perdas nas linhas, transformadores e sistema. Por fim, para as simulações supracitadas utilizou-se o software OpenDSS.

Dito isso, foi concluído que a inserção de geração solar fotovoltaica resultou apenas na redução das perdas nas linhas e transformadores dos segmentos observados, o segmento que demonstrou melhores resultados foi o MT1 que teve uma redução das perdas de 337 kWh nas linhas e de 5 kWh nos transformadores com redução percentual de 65,6% e percentual de 20,83% respectivamente. Pelo relatório de perdas, foi notado redução na perda total ativa, que foi de 2,74% para 2,35% e reativa, que reduziu de 7,18% para 5,88%. Tais resultados foram positivos, uma vez que a tensão na barra da conexão foi elevada e houve um decaimento nas perdas técnicas, resultando em uma maior economia e aumento na qualidade de energia. Além disso, os níveis de tensão se mantiveram nos limites estabelecidos pelo Módulo 8 do PRODIST.

Já com as alterações das potências nominais dos geradores (Cenário 3), apesar dos níveis continuarem dentro dos limites estabelecidos pelo Módulo 8, foi observado um aumento nas perdas das linhas e transformadores se comparado com o Cenário 2. O

segmento que demonstrou piores resultados foi o BT3 que teve um aumento de 49 kWh nas linhas e o segmento MT2 de 7 kWh nos transformadores com aumento percentual de 61,02% e 800% respectivamente. Pelo relatório de perdas, foi notado uma elevação na perda total ativa, que foi de 2,35% para 2,57% e reativa, que aumentou de 5,88% para 6,51%. Os resultados demonstram que o Cenário 3 possui menores perdas do que o Cenário 1, apesar de estar mal dimensionado. Já para o Cenário 2, bem dimensionado, é o que possui menores perdas. Logo, a modificação da dimensão de um sistema ou a capacidade do mesmo com a introdução de geração distribuída fotovoltaica, sem antes avaliar os impactos que eles podem trazer para a rede elétrica não é recomendável.

REFERÊNCIAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Nota Técnica nº 0057/2014-SRD/ANEEL: Aprimoramento da metodologia de cálculo de perdas na distribuição regulamentada no Módulo 7 – Cálculo de Perdas na Distribuição do PRODIST**. Brasília: ANEEL, 2014. 27 p.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Módulo 8 - Qualidade Da Energia: Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional**. Brasília: ANEEL, 2018. 88 p.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Perdas de Energia Elétrica na Distribuição**. Brasília: ANEEL, 2020. 21 p.

Dias, M. V. X.; Bortoni, E. D. C.; Haddad, J. Geração distribuída no Brasil: oportunidades e barreiras. **Revista Brasileira de Energia**, [S.l.], v. 11, n. 2, 2005.

Kagan, N.; Oliveira, C. C. B. D.; Robba, E. J. **Introdução aos sistemas de distribuição de energia elétrica**. 2 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2010, p. 325.

NREL - National Renewable Energy Laboratory. **Measurement and Instrumentation Data Center (MIDC): NREL Solar Radiation Research Laboratory**. 2019. Disponível em: <https://midcdmz.nrel.gov/apps/sitehome.pl?site=BMS>. Acesso em: 5 dez. 2019.

Zilber, M. A. Setor elétrico do Brasil impactos da desregulamentação e privatização no atendimento do consumidor. **Revista de Economia Mackenzie**, [S.l.], v. 1, n. 1, 2009.

ANÁLISE DE DADOS DE UMA USINA SOLAR DE GRANDE PORTE COM TRACKER DE UM EIXO

Data de aceite: 20/08/2021

Data de submissão: 06/07/2021

Gracilene Mendes Mota

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Elétrica, Mestranda em Engenharia Elétrica
Belo Horizonte – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/9090411306067691>

Marcelo Medeiros

Consultor em Energias Renováveis,
Engenheiro
São Paulo – São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/1575776427000027>

Patrícia Romeiro da Silva Jota

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Elétrica, Professora Titular
Belo Horizonte – Minas Gerais
<http://lattes.cnpq.br/0977994271668461>

RESUMO: A melhoria da eficiência de sistemas fotovoltaicos é uma meta constante para a área de energia. Uma das formas possíveis de aumentar a energia gerada por um painel fotovoltaico é a utilização do rastreamento solar, realizando a sua movimentação de modo a seguir a trajetória do sol, buscando um menor ângulo de incidência. Existem vários tipos de rastreadores, de um ou dois eixos. Cada tipo de rastreador possui vantagens e desvantagens e as aplicações devem ser devidamente avaliadas. As primeiras usinas de grande porte foram instaladas no

Brasil nos últimos oito anos e a avaliação do desempenho é objeto de estudos. Este trabalho apresenta uma análise de dados coletados em uma destas usinas, com foco no desempenho do rastreador solar. O tracker instalado nesta usina é de eixo horizontal com orientação N-S, e cuja inclinação ocorre na direção L-W. Valores medidos ao longo de três meses no período do inverno da irradiação solar no plano horizontal e no plano do tracker são comparados com valores teóricos. São avaliados os ganhos de energia incidente do sistema de rastreamento, bem como as perdas de energia absorvida pela atmosfera avaliada com e sem o tracker. Foi possível verificar ganhos percentuais maiores no início da manhã diminuindo até zerar ao meio dia e depois crescente até o final da tarde, chegando a valores em torno de 140% nos pontos extremos. O ganho médio verificado foi de 29% nos meses avaliados. No dia com maior irradiação solar medida no plano horizontal, 22MJ/m², foi possível obter 28,5MJ/m² disponível no plano do tracker. Os resultados indicam ganhos expressivos que justificam a aplicação do tracker para a localidade de sua instalação.

PALAVRAS - CHAVE: Rastreamento solar, rastreamento solar em um eixo horizontal, usinas solares.

DATA ANALYSIS OF A LARGE SOLAR PLANT WITH AXIS TRACKER

ABSTRACT: Improving the efficiency of photovoltaic systems is a constant goal for the energy area. One of the possible ways to increase the energy generated by a photovoltaic panel is to use solar tracking, moving it to follow the path

of the sun, seeking a smaller angle of incidence. There are several types of trackers, with one or two axes. Each type of tracker has advantages and disadvantages and the applications must be properly evaluated. The first large plants were installed in Brazil in the last eight years and performance evaluation is the subject of studies. This paper presents an analysis of data collected in one of these plants, focusing on the performance of the solar tracker. The tracker installed in this plant is of horizontal axis with N-S orientation and whose inclination occurs in the L-W direction. Values measured over three months in the winter period of solar irradiation in the horizontal plane and the tracker plane are compared with theoretical values. The incident energy gains of the tracking system are assessed, as well as the losses of energy absorbed by the atmosphere evaluated with and without the tracker. It was possible to see larger percentage gains in the early morning decreasing to zero at noon and then increasing until late afternoon, reaching values around 140% at the extreme points. The average gain was 29% in the months evaluated. On the day with the highest solar radiation measured in the horizontal plane, 22MJ/m^2 , it was possible to obtain $28,5\text{MJ/m}^2$ available in the tracker plane. The results indicate significant gains that justify the application of the tracker to the location of its installation.

KEYWORDS: Solar tracking, horizontal axis, Solar plants.

INTRODUÇÃO

No segundo semestre de 2017, o Brasil contava com 438,3 MW de potência instalada de geração solar, correspondentes a 15,7 mil instalações (MME, 2017). Apesar de a geração de energia solar fotovoltaica ainda ser incipiente no Brasil, existem diversos incentivos governamentais para o aproveitamento da fonte, conforme apresentado por (Silva, 2015) e (Nascimento, 2017). Dentre esses incentivos, têm-se os relacionados a projetos de pesquisa e desenvolvimento. Ressalta-se que os projetos de geração de energia solar fotovoltaica dividem-se em projetos de geração centralizada, com usinas de maior porte, e de geração descentralizada, a chamada geração distribuída, localizada em casas, edifícios comerciais e públicos, condomínios e áreas rurais (Nascimento, 2017). O enfoque desse trabalho está na geração centralizada. Inseridos nesses projetos em usinas de geração centralizada, tem-se o estudo acerca da aplicação de seguidores solares, a fim de se aumentar a energia gerada por um painel fotovoltaico.

Um seguidor solar é um dispositivo mecânico que tem por objetivo garantir que os painéis fotovoltaicos fiquem sempre na posição mais favorável a captar o máximo de radiação solar possível. Os seguidores solares podem ser utilizados em basicamente todas as aplicações que utilizem energia solar. Há relativamente pouco tempo, eram usados essencialmente na produção de energia solar térmica, mas nos últimos anos, com a redução dos custos na tecnologia fotovoltaica, tem aumentado a sua utilização aliada a energia fotovoltaica (CORTEZ, 2013).

Este trabalho apresenta uma avaliação de dados reais medidos em uma usina de grande porte localizada em Minas Gerais. Esta usina utiliza tracker de eixo horizontal com

orientação N-S, e cuja inclinação ocorre na direção L-W. Os dados mostram os ganhos obtidos a partir do uso do tracker nesta usina.

EQUAÇÕES SOLARES

Para a compreensão do funcionamento e da aplicação desses seguidores, torna-se importante o conhecimento acerca de algumas de suas definições teóricas. Além disso, as equações de radiação solar extraterrestre em um plano horizontal e da energia diária extraterrestre nesse mesmo plano se tornam essenciais para o objetivo desse trabalho de análise da energia gerada pelos painéis fotovoltaicos, em uma usina de grande porte.

Sabe-se que conforme a inclinação do sol e o tipo de tracker, o ângulo de incidência do sol na superfície do módulo é modificado, afetando a potência incidente, equação 1, com o valor do cosseno do ângulo de incidência, equação 5, em cada instante. Logo, substituindo a Equação 2 na Equação 1, encontra-se a Equação 3 que mostra a radiação solar extraterrestre em um plano horizontal, sendo esse o tipo do tracker de interesse desse trabalho.

$$G_0 = G_{sc} \cdot \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \cdot \cos(\theta_z) \right] \quad (1)$$

$$\theta_z = \cos^{-1} \sin \Phi \sin \delta + \cos \Phi \cos \delta \cos \omega \quad (2)$$

$$G_0 = G_{sc} \cdot \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \right] \cdot [\sin(\Phi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\Phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega)] \quad (3)$$

sendo, G_0 a radiação solar extraterrestre no plano horizontal (W/m^2), G_{sc} a constante solar ($1367 W/m^2$), n o dia juliano, ϕ a latitude local ($^\circ$), ω ($^\circ$) o ângulo horário (representa o deslocamento angular do sol a leste ou oeste do meridiano local devido à rotação terrestre – 15° por hora positivo pela manhã) e δ é a declinação solar ($^\circ$).

Para o cálculo da energia diária extraterrestre em um plano horizontal, de acordo com Duffie e Beckman (2013), integra-se a Equação 3 em relação ao ângulo horário, no intervalo do nascer ao pôr do sol. Além disso, são realizadas as devidas conversões de unidades. O cálculo dessa energia pode ser realizada pela Equação 4.

$$H_0 = \left\{ \frac{24 \cdot 3600 \cdot G_{sc}}{\pi} \cdot \left[1 + 0,033 \cdot \cos \left(\frac{360 \cdot n}{365} \right) \right] \cdot \left[\cos(\Phi) \cdot \cos(\delta) \cdot \text{sen}(\omega_s) + \frac{2\pi \cdot \omega_s}{360} \cdot \text{sen}(\Phi) \cdot \text{sen}(\delta) \right] \right\} / 10^6 \quad (4)$$

onde H_0 é energia diária extraterrestre num plano horizontal (MJ/m^2) e ω_s é o ângulo do horário do pôr do sol, em graus ($^\circ$).

Além disso, o ângulo horário do pôr do sol (ω_s) é dado por:

$$\omega_s = \cos^{-1} (-\tan \Phi \tan \delta) \quad (5)$$

O rastreamento nem sempre resulta em aumento da radiação incidente; basta comparar a radiação de solstício de inverno na superfície de rastreamento norte-sul com a radiação na superfície fixa. Na prática, as diferenças serão menores, devido às nuvens e a condição atmosférica. Além disso, o tracker altera de forma significativa a distribuição temporal da radiação incidente, nem sempre melhorando a radiação incidente. Dessa forma, esse trabalho busca apresentar os efeitos de geração de energia pelos módulos fotovoltaicos com o uso dos seguidores solares, a fim de se apresentar as vantagens associadas ao seu uso em usinas de grande porte.

ESTUDO DE CASO

Para esse trabalho foram coletados dados ambientais de sensores de uma usina solar, ao longo dos meses de maio a julho. Os dados analisados nesse trabalho, nesse período de três meses, são de temperatura dos módulos, temperatura ambiente e radiação solar no plano inclinado e no plano horizontal do painel solar fotovoltaico com tracker de um único eixo horizontal. Vale ressaltar que o tracker possui orientação N-S, porém seu plano de inclinação ocorre na direção L-W. Além disso, as medições foram realizadas em intervalos de 5 em 5 minutos, para o alcance de uma maior precisão dos dados a serem analisados.

A usina em análise, localizada no norte de Minas Gerais, possui uma potência total instalada da ordem de centenas de MWp, sendo que cada tracker possui, geralmente, 90 Módulos (3 strings). Os painéis solares possuem um distanciamento do solo de 1,2 m.

METODOLOGIA

Para o levantamento das curvas presentes nesse trabalho, foi realizado um tratamento específico dos dados ambientais recebidos. Para esse tratamento, inicialmente pegou-se, para o mesmo intervalo de 5 minutos de cada dia dentre os 3 meses analisados, os valores de radiação solar incidente (W/m^2) nos planos horizontal e inclinado do tracker de orientação N-S. Posteriormente, realizou-se uma média da radiação solar tanto para o plano horizontal quanto para o plano inclinado.

Para realizar a comparação dos valores medidos com o modelo teórico do tracker de um único eixo horizontal, realizou-se uma conversão da distribuição temporal dos dados da curva da média da radiação solar, de hora de relógio para hora solar, como poderá

ser observado nos Resultados e Discussão desse trabalho, Figura 6. As Equações 1, 2 e 3 foram utilizadas neste cálculo. Dessa forma, foi possível a comparação da distribuição temporal em hora solar (h) da radiação solar (W/m^2) do modelo teórico (radiação extraterrestre) com os valores medidos da usina solar. Também, foi gerada a curva que mostra a distribuição temporal, em dias do ano da energia solar diária em uma superfície horizontal, desconsiderando o efeito da atmosfera, sendo a unidade fornecida em (MJ/m^2), realizando-se a devida conversão de (W/m^2) para (MJ/m^2).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a obtenção dos resultados, foi realizado o tratamento dos dados recebidos da usina solar. Posteriormente, obtiveram-se as curvas da Figura 1, sendo realizada uma média dos valores de radiação solar (W/m^2) no plano horizontal e no plano inclinado do tracker de um único eixo horizontal, sendo essa média a dos três meses de inverno analisados (de 30/04/2018 a 30/07/2018).

Observa-se na Figura 1 que a distribuição temporal considera o tempo de relógio dos valores da média da radiação solar dos dois planos de 06h00min às 18h30min, sendo que a amostra desses valores se inicia por volta de 06h25, estendendo-se até às 17h45, aproximadamente.

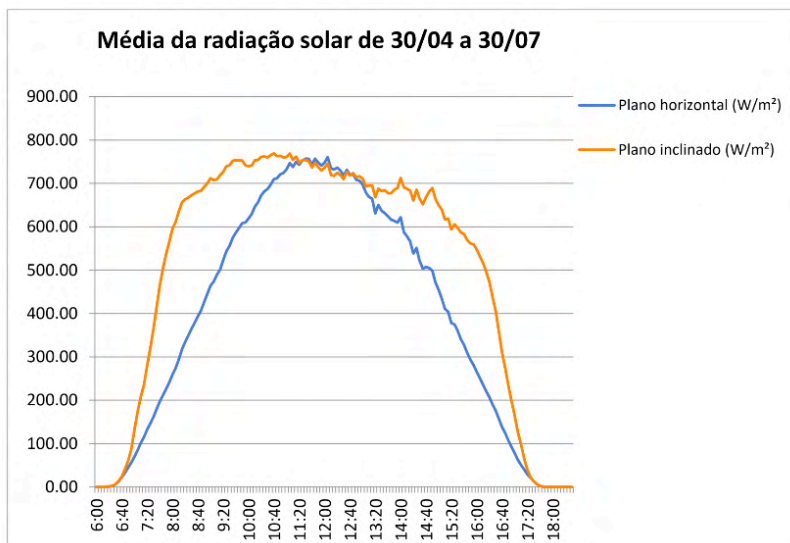


Figura 1 – Média da radiação solar x tempo em hora de relógio.

Analisando as curvas dos dois planos e de acordo com a Tabela 1, tem-se a máxima radiação horizontal média dos dias e a máxima radiação inclinada média dos dias. Dessa forma, conclui-se que no plano inclinado a máxima radiação solar média incidente em (W /

m²) é superior ao valor da máxima radiação solar média incidente no plano horizontal.

Planos de radiação solar incidente	Máxima Radiação solar média (W/m ²)	Horário de relógio
Plano Horizontal	760,32	12h05
Plano Inclinado	769,11	10h40

Tabela 1 – Máxima radiação solar média no plano horizontal e no plano inclinado.

Na Figura 2, encontram-se três curvas de interesse; a curva da média da radiação solar incidente no plano inclinado do tracker, a curva da média da potência gerada e a curva da média da temperatura dos módulos (°C). Os valores da média da radiação solar e média da potência gerada estão no sistema por unidade (pu), além disso, a variação da temperatura dos módulos ocorre entre 15°C e 43°C, aproximadamente. Os valores no sistema por unidade foram encontrados, por meio da normalização dos valores das duas curvas usando seus respectivos valores máximos, tanto da média da radiação solar quanto da média da potência gerada. No período da tarde, pode-se observar uma maior temperatura dos módulos, com um decaimento ocorrendo a partir do instante em que a radiação solar diminui no horário de 17h40. É possível observar que a queda de temperatura é mais suave do que a de radiação solar. Isto ocorre devido à constante térmica dos módulos. Entretanto, observa-se que apesar da variação de temperatura entre os períodos da manhã e da tarde, não há efeito na geração de energia. A curva de geração segue a curva de radiação sem indicar o efeito da temperatura. Entretanto, deve-se destacar que os meses estudados são meses frios e as temperaturas dos módulos não atingiram valores elevados.

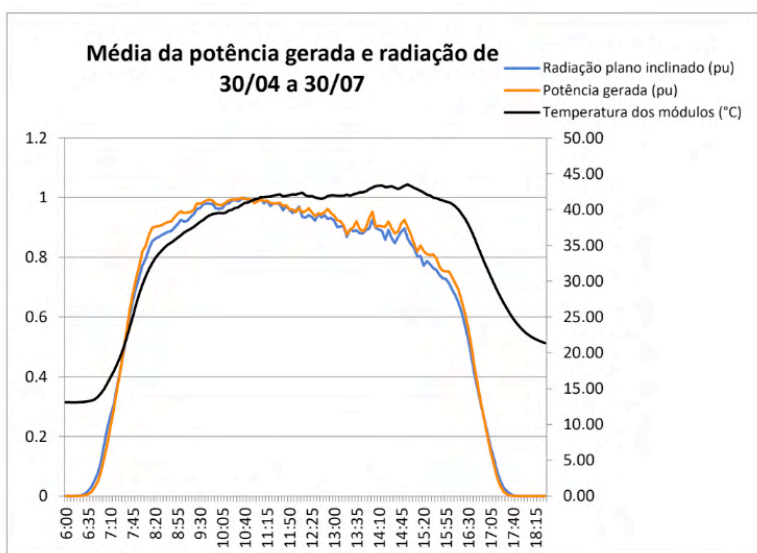


Figura 2 – Média da radiação solar e da potência gerada x tempo em hora de relógio.

CRESESB (2014) destaca que a maior energia diária disponível em (MJ/m^2), na região Sudeste, no plano horizontal, é de $22 MJ/m^2$ ou de $6,1 kWh/m^2$. De fato, ao se observar a Figura 3, que possui as curvas de análise teórica limitadas ao intervalo das curvas de medições existentes ($120 < n < 210$), onde n é o dia juliano, conclui-se que a variação da energia diária medida no plano horizontal está limitada ao valor máximo de $22 MJ$. Observa-se que a variação de energia diária ao longo dos três meses analisados está entre os valores de $8 MJ$ a $22 MJ/m^2$. Além disso, observa-se que a radiação disponível teórica se difere da medida devido ao efeito da atmosfera e clima. Uma grande parcela da radiação é absorvida pela atmosfera e a existência de nuvens pode comprometer ainda mais a disponibilidade de energia no plano da usina. Desse modo, a escolha do local de instalação da usina solar torna-se um dos importantes fatores a serem considerados para a garantia de um maior aproveitamento do grande potencial de energia solar do Brasil.

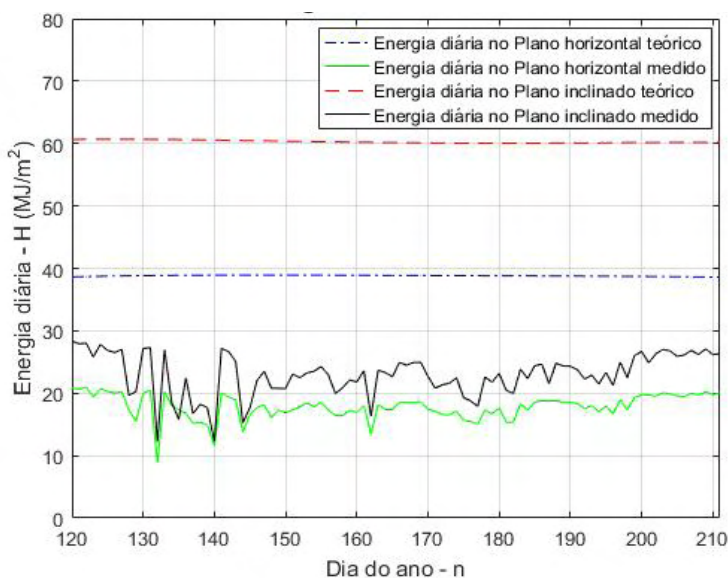


Figura 3 – Energia diária x Dias do ano – entre os dias do ano $120 < n < 210$.

A última análise realizada comparou os valores teóricos da radiação solar extraterrestre, ao longo da hora solar (h), para o dia 15/05/2018, com a média dos valores medidos de radiação solar do local, onde está inserida a usina desse trabalho. Considerou-se, também, a análise no plano horizontal.

Segundo Duffie e Beckman (2013), o tempo solar é o tempo usado em todas as relações do ângulo do sol e não coincide com a hora do relógio local. Dessa forma, é necessário converter o horário padrão para o horário solar aplicando devidas correções.

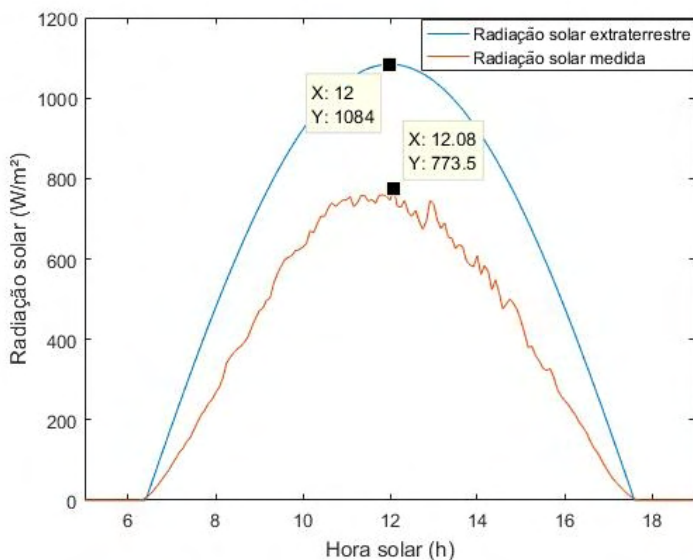


Figura 4 – Radiação Solar no plano horizontal x Hora Solar.

Ao analisar os resultados da curva de radiação solar extraterrestre teórica com a curva de radiação solar medida, figura 4, percebe-se a similaridade em seu formato, com os maiores valores de radiação solar (W/m^2) correspondentes aos valores de hora solar em torno da hora solar 12 h. Percebe-se que o valor máximo da radiação solar da curva medida ocorre na hora solar 12h08 (curva afetada por nuvens), já na curva teórica ocorre exatamente na hora solar 12h, como é o esperado teoricamente, uma vez que nessa hora o sol está no topo do seu movimento para o local sob análise. Para a curva medida, a máxima radiação solar corresponde a $773 W/m^2$, já para a curva teórica, a máxima radiação solar é $1084 W/m^2$. Dessa forma, observa-se, conforme esperado, que a máxima radiação solar medida é menor em relação à máxima radiação solar teórica. Essa variação da máxima radiação solar é explicada devido à interferência atmosférica na filtragem da radiação solar, no caso da curva medida, além da existência de nuvens que afetam as medições.

CONCLUSÃO

Para a análise dos valores medidos do tracker de um único eixo horizontal com orientação N-S, foram traçados gráficos comparativos entre radiação horizontal, inclinada e a geração solar obtida. Nessas análises não foi realizada a correção da hora solar, já que todos os dados medidos estão na mesma base horária. Vale ressaltar que nesses gráficos, as curvas possuem os valores medidos tanto no plano horizontal quanto no plano inclinado do tracker.

Além disso, nas curvas de distribuição temporal da energia diária, em dias do ano,

e da radiação solar, em hora solar, houve uma comparação entre as curvas teóricas e medidas dos dois planos. Analisando as curvas dos dois planos, foi possível concluir que, no plano inclinado, a máxima radiação solar média incidente em (W/m^2) é superior ao valor da máxima radiação solar média incidente no plano horizontal, como era de se esperar com o uso do seguidor solar.

Por fim, analisando as curvas de distribuição temporal teóricas com as curvas medidas de energia diária (MJ/m^2) e radiação solar (W/m^2), constatou-se, que apesar de as curvas medidas acompanharem o formato das curvas teóricas e, conseqüentemente, seu comportamento, os valores medidos de energia diária e radiação são menores. Esse fato é devido à interferência da atmosfera na filtragem da radiação solar.

REFERÊNCIAS

CORTEZ, R. J. M. **Sistema de Seguimento Solar em Produção de Energia Fotovoltaica**. Tese (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade de Porto, Porto, p.94.2013.

CRESESB. **Atlas Solarimétrico do Brasil**. CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito e CEPEL, 2000.

Duffie, J. A.; Beckman, W. A. **Solar Engineering of Thermal Process**. 2. ed. New York: John Wiley and Sons, 2013.

MOTA, G. M. **Análise de dados de uma usina solar com tracker de um eixo**. Dissertação (Dissertação em Engenharia Elétrica) – Centro de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Minas Gerais, p.75. 2018.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Energia Solar no Brasil e no Mundo**. 2017.

Nascimento, Rodrigo L. - **Energia Solar no Brasil: Situação e Perspectivas, Estudo Técnico – Março de 2017**.

Silva, R. M. **Energia Solar: dos incentivos aos desafios**. Texto para discussão nº 166. Brasília. Senado Federal, 2015.

AVALIAÇÃO DO EFEITO DO PLASMA FRIO NA REMOÇÃO DE PESTICIDA EM ÁGUAS PARA ABASTECIMENTO PÚBLICO

Data de aceite: 20/08/2021

Data de submissão 16/07/2021

João Pedro Silvestri Ferreira

Acadêmico do curso de Engenharia Química,
UNISUL
Palhoça - SC
<http://lattes.cnpq.br/8526480353589589>

Rodrigo Menezes Wheeler

Palhoça - SC
Mestrando do curso de pós-graduação de
Ciências Ambientais, UNISUL
<http://lattes.cnpq.br/1648150147219351>

Elisa Helena Siegel Moecke

Palhoça - SC
Doutora em Química e professora do PPGCA/
UNISUL
<http://lattes.cnpq.br/9016477587974309>

RESUMO: A crescente utilização de agrotóxicos apresenta um risco ao meio ambiente. Uma vez que estes contaminantes não são eliminados através do método convencional de tratamento de efluentes, diversos métodos foram estudados, como por exemplo, a utilização do plasma não térmico (PNT). Para avaliar a eficiência do PNT na degradação do pesticida Ridomil® em meio líquido, foi preparado 3 concentrações diferentes, o solo contaminado com as amostras preparadas do pesticida e as minhocas da espécie *Eisenia Fetida* como bioindicadores. No teste de fuga, observa-se que na concentração de 6,5 g/L não houve rejeição do solo e quando expostas por

15 e 30 min. ao PNT houve rejeição, enquanto às submetidas por 45 min., houve grande aceitação. No teste crônico, na concentração de 9,375 g/L e após passar pelo PNT durante 30 min., foi observado uma menor perda de peso das minhocas, assim como as mudanças na condutividade e na concentração de sulfato nas soluções, indicando que o plasma atua na estrutura química do pesticida.

PALAVRAS - CHAVE: Plasma não Térmico; Ridomil®; *Eisenia Fetida*.

EVALUATION OF THE EFFECT OF NON THERMAL PLASMA ON PESTICIDE REMOVAL IN PUBLIC WATER SUPPLY

ABSTRACT: The increasing use of pesticides presents a risk to the environment. Since these contaminants are not eliminated through the conventional effluent treatment method, several methods have been studied, such as the use of non-thermal plasma (NTP). To evaluate the efficiency of NTP in the degradation of the pesticide Ridomil® in liquid, 3 different concentrations were prepared, the soil contaminated with the samples prepared from the pesticide and the earthworms of the species *Eisenia Fetida* as bioindicators. In the escape test, it was observed that at the concentration of 6.5 g/L there was no rejection of the soil and when exposed for 15 and 30 min. to the PNT there was rejection, while the ones submitted for 45 min., there was great acceptance. In the chronic test, at the concentration of 9.375 g/L and after passing the NTP for 30 min, a lower weight loss of the earthworms was observed, as well as the changes in conductivity and sulfate concentration in the solutions, indicating that

plasma acts on the chemical structure of the pesticide.

KEYWORDS: Non-thermal Plasma; Ridomil®; Eisenia Fetida.

1 | INTRODUÇÃO

Os agrotóxicos também conhecidos como pesticidas são amplamente utilizados na agricultura para controlar a infestação na agricultura (BAI et al., 2011). Os benefícios do uso de pesticidas incluem redução das perdas de culturas e aumento da produção por unidade de área de terra. No entanto, o uso de pesticidas é frequentemente associado a riscos para a saúde humana e animal, juntamente com efeitos prejudiciais ao meio ambiente (AKTAR et al., 2009).

A poluição por pesticidas tem sido reconhecida como um importante problema global pelos cientistas e pelas agências ambientais que buscam soluções no desenvolvimento de pesticidas mais biocompatíveis que visam minimizar os efeitos colaterais nas espécies não-alvo (KAH et al., 2013).

Como muitos desses contaminantes não podem ser efetivamente eliminados pelo tratamento convencional, existe uma variedade grande de processos de tratamento que foram investigados mundialmente para remover pesticidas, como o uso de plasma para a degradação destes, tanto em água como em alimentos (NGUYEN et al., 2019; GIARDINA, 2018; BOURKE et al., 2018).

O plasma não térmico (PNT) é um estado parcial ou totalmente ionizado de um gás que consiste de íons carregados positiva e negativamente, elétrons livres, radicais livres e átomos reativos intermediários, moléculas e fótons UV com uma carga líquida neutra (MISRA, 2015). A capacidade do plasma para gerar espécies altamente reativas *in situ* é bem conhecida. Sua formação é iniciada principalmente pela colisão dos elétrons energéticos produzidos na descarga com átomos ou moléculas de gás. Uma vez que, a descarga é iniciada, espécies reativas também podem ser produzidas por reações de recombinação do radical ou desexcitação de espécies metaestáveis. As espécies primárias e secundárias (radicais hidroxila, o ozônio e o peróxido de hidrogênio) formadas em descargas elétricas em meio líquido ou gás-líquido são relevantes para a degradação dos poluentes-alvo. No entanto, muitas outras espécies (espécies reativas de oxigênio - ROS e espécies reativas de nitrogênio - RNS) são geradas no plasma, e podem contribuir também para a decomposição de poluentes, como oxigênio atômico, superóxido, radicais hidroperoxila, óxidos de nitrogênio, nitritos, nitratos e peroxinitritos. (DILECCE et al., 2012; MAGUREANU; BRADU; PARVULESCU, 2018).

O uso de minhocas como biodicadores para detectar possíveis comutações no ambiente é prática comumente utilizada e recomendada pela norma ABNT NBR 15537/2007, visto que são econômicos e eficazes. Uma vez que, estas fazem parte da formação do solo, participando da decomposição de matéria orgânica, qualquer resquício de alteração

produzida no meio ambiente tem sua biota diretamente afetada.

No presente projeto foi estudado a aplicação do plasma frio na degradação de fungicidas em amostras de água, pois além de gerar radicais livres e produzir ozônio o plasma frio tem a capacidade de irradiar a luz UV que também pode aumentar a eficiência de degradação de pesticidas. E como composto alvo, foi escolhido o RIDOMIL® GOLD MZ que é uma mistura de fungicida sistêmico, Metalaxil-M (4%), pertencente à classe química das Fenilamidas, subclasse Acilalaninato e de um fungicida de contato, Mancozebe (64%), da classe dos ditiocarbamatos, apresentando-se na formulação do tipo pó molhável. A estrutura dos constituintes pode ser observada na Figura 1.

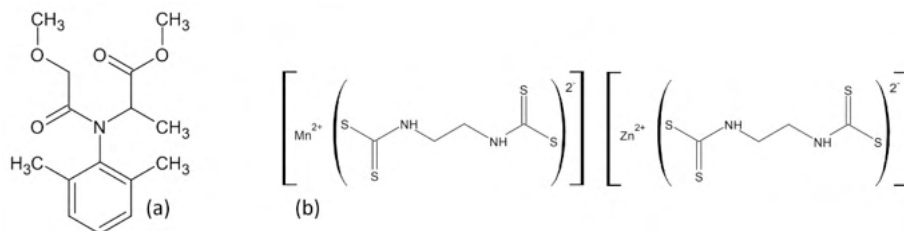


Figura 1: Estruturas químicas dos compostos que compõem o Ridomil®, (a) Metalaxyl (methyl N-(methoxyacetyl) -N-(2,6-xylyl)-DL-alaninate) e (b) MANCOZEBE ((1,2-Ethanediybis(carbamodithioato))(2-)) manganese zinc salt.

Fonte: Elaborado pelos autores.

2 I MATERIAIS E MÉTODOS

O tipo de ensaio empregado é o experimental/descriptiva, tendo em vista o tipo de experimento implementado, o teste em bancada e a observação dos efeitos do plasma não térmico sobre as amostras impregnadas com o RIDOMIL. Os ensaios foram realizados nos laboratórios de Engenharia Ambiental e Sanitária e no Laboratório de Plasma localizados nas dependências da Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL) campus Pedra Branca.

O RIDOMIL® GOLD MZ foi cedido por uma empresa agropecuária e preparado em três diluições diferentes sendo a concentração (1) de 6,25 g/L, a concentração (1 ½) de 9,375 g/L e a concentração (2) de 12,5 g/L.

O reator de PNT (Figura 2) utilizado nos experimentos é constituído por um cilindro em quartzo com 7 cm de diâmetro, 8 cm de altura e 0,5 cm de espessura; uma base em plástico com aproximadamente 18 cm de diâmetro. A geometria do reator é do tipo ponta-plano em relação aos eletrodos utilizados, híbrido gás-líquido e em pressão atmosférica padrão. Para a geração do PNT foi usado uma fonte de alta tensão (17 kV) e corrente de 30 mA, foi introduzido na câmara ar atmosférico como gás plasmogênico e a formação dele se deu na fase gasosa. As soluções de Ridomil preparadas foram expostas ao plasma nos tempos de 15, 30 e 45 minutos.

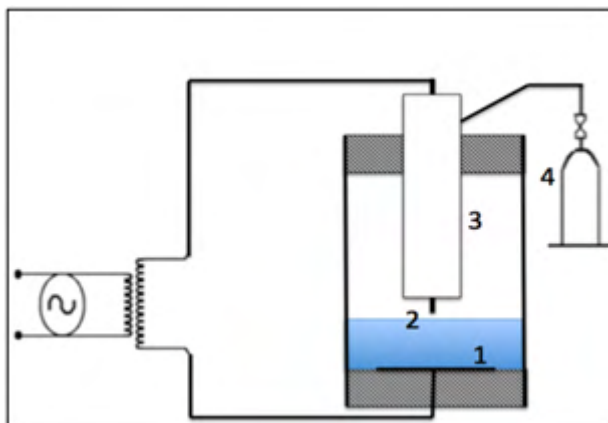


Figura 2: Modelo do reator de PNT utilizado nos experimentos, (1) Eletrodo plano; (2) Eletrodo ponta; (3) base de sustentação do eletrodo ponta; (4) Bomba injetora de ar atmosférico.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para os ensaios físico-químicos determinou-se o pH do solo, a condutividade e a concentração de sulfato foram determinadas no meio líquido contendo RIDOMIL® e que foi usado para contaminar o solo. Para a análise de pH do solo, procedeu-se conforme a norma ABNT NBR ISO 15537/2007. A condutividade da amostra foi medida antes e após a exposição do plasma utilizando o condutímetro da marca Hanna, o sulfato foi determinado pelo método colorimétrico Hach 8507, utilizando o colorímetro HACH modelo DR/890.

Os ensaios ecotoxicológicos dos solos contaminados com RIDOMIL® foram embasados nas normas ABNT NBR 15537/2007 e ABNT NBR ISO 17512-1/2011. Foram realizados os testes de fuga também conhecido como de evitamento (Quadro 1) utilizando um recipiente circular contendo seis seções interconectadas (especificada pela norma ABNT NBR ISO 17512-1/2011), cada seção contendo 400 g do solo artificial tropical (SAT) e intercaladas com solo umidificado com água destilada e com soluções contendo RIDOMIL® expostas ao plasma em tempos diferentes. A quantidade de amostra e água utilizada na contaminação foi determinada através de ensaios com o intuito de deixar o solo com a capacidade de retenção de água de 40%. O SAT, foi preparado conforme disposto nas normas, sendo ele composto por 70% de areia industrial fina, 20% de argila branca e 10% de turfa triturada e as minhocas da espécie *Eisenia fetida* foram utilizadas como biondicadores, elas foram cedidas pelo Laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária da Unisul. Foram adicionadas a cada câmara de seis seções 10 minhocas adultas, com clitelo, com peso entre 300 e 600 mg e previamente aclimatadas, conforme descrito nas normas (Quadro 1).

Tipo de teste	Evitamento
Norma	ISO 17512 (2007)
Tempo de duração	48 h
Réplicas	2
Números de organismos por recipiente	10
Quantidade de solo	400 g de solo seco por seção
Peso dos organismos	300 a 600 mg
Temperatura	23 °C
Luminosidade	Fotoperíodo de 24 horas
Umidade	40% da capacidade de retenção do solo

Quadro 1: Resumo teste de fuga ou evitamento utilizando a minhoca *Eisenia fetida*.

Fonte: Adaptado de Silva (2007).

Para o teste crônico de 28 dias (Quadro 2) utilizou-se do mesmo solo preparado para o teste de evitamento e seguiu-se adicionando 10 minhocas adultas, com clitelo, pesando cerca de 300 mg e previamente aclimatadas como já foi descrito. Para este teste foi adicionado cerca de 500 g de SAT em cada recipiente.

Tipo de teste	Evitamento
Norma	ISO 17512 (2007)
Tempo de duração	28 dias
Réplicas	2
Números de organismos por recipiente	10
Quantidade de solo	500g de solo seco em cada recipiente
Peso dos organismos	300 a 600 mg
Temperatura	23-25 °C
Luminosidade	Fotoperíodo de 24 horas
Umidade	40% da capacidade de retenção do solo

Quadro 2: Resumo teste de crônico utilizando a minhoca *Eisenia fetida*.

Fonte: Adaptado de Silva (2007).

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores de pH apresentaram pouca variação entre si. O menor valor de pH foi no tempo de 0 minutos e na concentração (1) de RIDOMIL® (pH=5,18) e o maior valor no tempo de 15 minutos e na concentração (2) de RIDOMIL® (pH=5,72). O pH, de acordo com a Sociedade Americana de Ciência do Solo (SSSA), integra um dos indicativos da qualidade do solo e está diretamente ligado com os processos e comportamento.

Os valores de pH do solo com diferentes concentrações de RIDOMIL® estão apresentados na Tabela 1. O pH do solo sem a presença de RIDOMIL® foi na média de 6,47.

Tempo de exposição ao plasma	pH		
	Concentração RIDOMIL®		
	1	1 1/2	2
0 min	5,18 (±0,06)	5,66 (±0,18)	5,43 (±0,06)
15 min	5,36 (±0,12)	5,52 (±0,14)	5,72 (±0,2)
30 min	5,28 (±0,03)	5,7 (±0,28)	5,68 (±0,03)
45 min	5,26 (±0,05)	5,49 (±0,15)	5,65 (±0,14)

Tabela 1: Resultado da análise de pH do solo.

Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com a ABNT NBR ISO 15537/2007 o pH do solo deve estar entre 5,5 e 6,5 para a realização dos ensaios, indicando que o SAT não estaria apto para as realizações do ensaio em decorrência da exposição ao plasma utilizando o ar atmosférico, isso já era esperado, pois o ar, composto de nitrogênio e oxigênio, tem influência na formação das espécies reativas que promovem a acidificação do meio. Cubas et al., (2019) e Giardina et al., (2018) também testemunharam uma acidificação de suas amostras utilizando o ar atmosférico como gás plasmogênico.

Contudo, optou-se por não realizar a adição de um corretor de pH para evitar alterações nos resultados dos experimentos. O mesmo foi realizado por Lima (2010) no seu trabalho de doutorado “Avaliação do impacto da contaminação do solo de áreas agrícolas em bom repouso (MG) por meio de ensaios ecotoxicológicos”.

A condutividade elétrica está relacionada com o trânsito de elétrons através da solução. Na Tabela 2 observa-se que no tempo de exposição 0 min, à medida que aumenta a concentração de amostra na solução, aumenta a condutividade. Com a formação de espécies oxidativas e íons H^+ , NO_2^- e NO_3^- formados durante a aplicação do plasma no meio reacional, provenientes do ar atmosférico que migram da fase gasosa para a líquida, evidenciando que a medida que se aumenta a concentração de RIDOMIL®, bem como o tempo de exposição ao plasma ocorre o aumento na condutividade na amostra. Isso foi observado também por Silva (2017) no seu trabalho de “Caracterização e performance de produção de peróxido de hidrogênio de um reator de plasma frio”.

Tempo de exposição ao plasma	Condutividade ($\mu S/cm$)		
	Concentração RIDOMIL®		
	1	1 1/2	2
0 min	580 (±14,14)	822,5 (±31,82)	1035 (±15,56)
15 min	567,5 (±10,60)	910 (±14,18)	1228,5 (±9,19)
30 min	716,5 (±31,82)	956 (±22,63)	1385,75 (±15,20)
45 min	693 (73,54)	1029 (±35,36)	1671,5 (±16,26)

Tabela 2: Resultado da condutividade nas amostras líquidas com RIDOMIL® antes e após a exposição ao plasma.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os resultados da concentração de sulfato apresentados na Tabela 3, mostram um aumento na concentração de sulfato em todas as amostras testadas, no tempo de 45 minutos na concentração (2) de RIDOMIL® apresentou em relação a amostra antes de exposição ao plasma, um maior incremento. Corroborando com o aumento de condutividade observado à medida que aumenta a exposição ao plasma.

Tempo de exposição ao plasma	Sulfato (mg/L)		
	Concentração RIDOMIL®		
	1	1 1/2	2
0 min	206,67 (±11,55)	360 (±34,64)	540 (±20)
15 min	240 (±16,17)	366,67 (±11,55)	533,34 (±50,33)
30 min	330 (±14,14)	486,67 (±23,09)	606,67 (±23,09)
45 min	390 (±42,43)	526,67 (±11,55)	820 (±52,91)

Tabela 3: Resultado do teor de sulfato nas amostras líquidas com RIDOMIL® antes e após a exposição ao plasma.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os compostos formados após a exposição do RIDOMIL® ao plasma não foram avaliados, contudo, Tadam (2018), observou que com a descarga direta do plasma sobre o composto, à medida que o tempo de exposição aumenta, há uma diminuição da concentração da amostra em meios aquosos. Corroborando com o esperado, que é a liberação de espécies oxidativas que reagem com a moléculas de água e do pesticida efetuando a liberação dos íons sulfato e outros subprodutos. Uma vez que em sua composição possui enxofre.

No teste de evitamento, foi realizado com o solo SAT controle e o solo SAT contaminado com diferentes concentrações de RIDOMIL® antes e após passar o líquido contaminado no PNT. Na tabela 4 são apresentados os resultados do teste.

Tempo de exposição ao plasma	Evitamento (%)		
	Concentração RIDOMIL®		
	1	1 1/2	2
0 min	0	100	100
15 min	60	100	80
30 min	80	100	80
45 min	0	80	100

Tabela 4: Resultados do teste de evitamento.

Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com a normativa que guiou os experimentos, caso haja ≥80% de evitamento, o solo encontra-se em função de habitat limitado, ou seja, impróprio para a sobrevivência dos indivíduos. Apenas a concentração 1 obteve valores aceitáveis

de evitamento por parte dos indivíduos. Ainda, não houve mortalidade dos indivíduos testados em qualquer condição de análise, indicando que, apesar de haver evitamento o composto não é classificado como tóxico. Os resultados antes da exposição ao plasma, no tempo de 0 minutos, são semelhantes ao encontrado por Chini (2014) que também investigou o evitamento utilizando o composto Ridomil com as minhocas da espécie *Eisenia Fetida*. O evitamento se dá em decorrência da presença de quimiorreceptores no prostômio e a distribuição de tubérculos sensoriais no corpo dos anelídeos, tornando-os altamente sensíveis a substâncias químicas (Azevedo e Coronas, 2018). Este evitamento foi observado por Garica e colaboradores (2008), onde em baixas concentrações de Maconzebe implicaram em evitamento pelas minhocas.

No teste realizado em recipientes individuais durante o período de 28 dias, os indivíduos adultos foram retirados, após este período, e observados visualmente as modificações em sua estrutura, os indivíduos sobreviventes foram retirados manualmente e pesados. Neste teste, avaliou-se os efeitos crônicos subletais causados nos organismos-teste. Os testes de toxicidade crônicos são avaliados através da maior concentração de produto que não causa efeito sobre os organismos-teste. No experimento foi a concentração 1 e 1 1/2.

Os resultados da perda de massa são apresentados na Tabela 5.

Tempo de exposição ao plasma	Perda de massa das minhocas (%)	
	Concentração RIDOMIL®	
	1	1 1/2
0 min	33,52	41,52
15 min	47,65	41,64
30 min	43,15	31,01
45 min	35,63	33,33

Tabela 4: Resultado do teste crônico com 28 dias no solo contaminado com RIDOMIL® submetido ao PNT usando a *Eisenia fetida*.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Para os testes de toxicidade crônico não foram observadas mortes dos indivíduos em nenhuma concentração, embora tenha sido observado uma perda de massa por parte dos indivíduos, bem como deformações e diminuição ou desaparecimento do clitelo (Figura 3), de acordo com a norma ANBT NBR 15537/2007 o solo contaminado não é definido como tóxico. Evidenciando que as minhocas apresentam ainda certa sensibilidade frente aos compostos que compõem o pesticida e aos formados após a exposição dele ao plasma.



Figura 3: Minhocas antes e após a exposição ao solo contaminado. (A) Controle – solo com água; (B) Concentração 1 no tempo de 45 minutos.

Fonte: Elaborado pelos autores.

4 | CONCLUSÃO

Considerando os resultados dos ensaios de toxicidade com a *Eisenia fétida* observa-se que na concentração 6,5 g/L (1) do contaminante Ridomil® não houve rejeição do solo e quando a solução foi exposta 15 minutos e 30 minutos ao PNT houve rejeição do solo, enquanto as soluções submetidas ao PNT por 45 minutos, houve grande aceitação pelas minhocas. Nos demais experimentos com concentrações mais elevadas houve rejeição ao solo contaminado, mesmo depois da exposição ao PNT. No teste crônico de 28 dias na concentração de 9,375 g/L (1 ½) e após passar pelo PNT durante 30 minutos, foi observado uma menor perda de peso dos organismos testes, assim como as mudanças na condutividade e na concentração de sulfato nas soluções de RIDOMIL® submetidas ao PNT mostraram que o plasma atua na estrutura química do agrotóxico em questão. Para ter um melhor entendimento do comportamento do Ridomil® quando submetido à ação do PNT mais estudos são necessários, usando concentrações menores do agrotóxico, e outro biomonitor (*Daphnia magna*) para avaliar a toxicidade na água, além de ensaios para determinar a concentração de nitrato e nitrito como também a análise no HPLC para verificar os compostos formados após submeter o Ridomil® a ação do PNT.

REFERÊNCIAS

ABNT - NBR 15537-1. **Ecotoxicologia terrestre - Ecotoxicidade aguda - Método de ensaio com minhocas**. Brasil, 2007.

ABNT – NBR ISO 15512-1. **Qualidade do solo Ensaio de fuga para avaliar a qualidade de solos e efeitos de substâncias químicas no comportamento. Parte 1: Ensaio com minhocas (*Eisenia fétida* e *Eisenia andrei*)**. Rio de Janeiro, 2011.

AKTAR, W.; SENGUPTA, D.; CHOWDHURY, A. **Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards.** *Interdiscip. Toxicol.*, v. 2, p. 1-12, 2009.

AZEVEDO, Amanda Rampelotto de; CORONAS, Mariana Vieira. **Uso de testes de fuga com minhocas *Eisenia andrei* e *Eisenia fetida* para identificação da toxicidade de agrotóxicos no Brasil: uma breve revisão da literatura.** *Ciência e Natura*, [S.L.], v. 40, n. 0, p. 18-26, 12 mar. 2019. Universidad Federal de Santa Maria. <http://dx.doi.org/10.5902/2179460x35495>. Disponível em: <file:///C:/Users/jp199/OneDrive/C3%81rea%20de%20Trabalho/projeto%20de%20pesquisa%202020/Azevedo%20e%20Coronas,%202018.pdf>. Acesso em: 07 out. 2020.

BAI, Y.; CHEN, J.; YANG, Y.; GUO, L.; ZHANG, C. **Degradação de pesticida organofosforado induzida por plasma de oxigênio: efeitos de parâmetros operacionais e mecanismos de reação.** *Chemosphere*, v. 81, p. 408 – 414, 2010.

BOURKE, Paula; ZIUZINA, Dana; BOEHM, Daniela; CULLEN, Patrick J. KEENER, Kevin. **The potential of cold plasma for safe and sustainable food production.** *Trends in biotechnology*, v.36, n.6, p.615 – 626, 2018.

CHINI, P. **Uso de minhocas da espécie *Eisenia fetida*, como bioindicadoras em solos contaminados com agrotóxicos;** Palhoça; Universidade do Sul de Santa Catarina, , 2014

CUBAS, A. L. V. et al. **Effect of chemical species generated by different geometries of air and argon non-thermal plasma reactors on bacteria inactivation in water. Separation and Purification Technology**, v. 222, n. December 2018, p. 68–74, 2019.

DILECCE, G.; AMBRICO, P.; SIMEK, M.; BENEDICTIS, S. **OH density measurement by time-resolved broad band absorption spectroscopy in an Ar-H₂O dielectric barrier discharge.** *J. Phys. D: Appl. Phys.*, v. 45, p. n. 12, 6pp., 2012.

GARCIA M, RÖMBKE J, BRITO MT de, SCHEFFCZYK A. **Effects of three pesticides on the avoidance behavior of earthworms in laboratory tests performed under temperate and tropical conditions.** *Environ. Pollut.* 2008;153:450-456.

GIARDINA, Agata; TAMPIERI, Francesco; MAROTTA, Ester; PARADISI, Cristina. **Air non-thermal plasma treatment of Irgarol 1051 deposited on TiO₂.** *Chemosphere*, v. 210, p.653 – 661, 2018.

KAH, M. ; BEULKE, S. ; TIEDE, K. ; HOFMANN., T. **Nanopesticides: state of knowledge, environmental fate, and exposure modeling.** *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, v. 43, p. 1823-1867, 2013.

LIMA, Natália Costa de. **Avaliação do impacto da contaminação do solo de áreas agrícolas de Bom Repouso (MG) por meio de ensaios ecotoxicológicos.** 2010. 71 130 f. Dissertação Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

MAGUREANU, M.; BRADU, C.; PARVULESCU, V. I. **Plasma processes for the treatment of water contaminated with harmful organic compounds.** *J. Phys. D: Appl. Phys.*, v. 51 n. 31, 23pp., 2018.

MISRA, N.N. **The contribution of non-thermal and advanced oxidation technologies towards dissipation of pesticide residues.** *Trends Food Sci. Technol.*, v.45, n.2, p. 229-244, 2015.

NGUYEN, Dung Van; HO, Phong Quoc; PHAM, Toan Van; NGUYEN, Tuyen Van; KIM, Lavane. **A study on treatment of surface water using cold plasma for domestic water supply**. Environmental Engineering Research. , v. 24, n.3. p. 412 - 417, 2019.

SILVA, A. F. F. DA. **Caracterização e Performance de um Reator de Plasma Frio na Produção de Peróxido de Hidrogênio**, Florianópolis, 2017.

TADOM, Doringar, KAMGANG-YOUBI, Georges, ACAYANKA, Elie, NJOYIM-TAMUNGANG, Estella, & LAMINSI, Samuel. **Reduction of sludge formed during a coagulation treatment of Ridomil Gold by means of non-thermal quenched plasma pre-treatment**. Environmental Monitoring and Assessment. 2018

CAPIM JARAGUÁ COMO LIGANTE EM BRIQUETES DE FINOS DE CARVÃO

Data de aceite: 20/08/2021

Data da submissão: 14/07/2021

Emanoel Zinza Junior

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Departamento de Engenharia de Energia
Rosana – SP
<http://lattes.cnpq.br/7599354720104806>

Andrea Cressoni de Conti

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Departamento de Engenharia de Energia
Rosana – SP
<http://lattes.cnpq.br/6272112056458876>

Gabriel Toledo Machado

Universidade Federal de São Carlos,
Departamento de Ciências Ambientais
Sorocaba – SP
<http://lattes.cnpq.br/1755345306645037>

Fábio Minouru Yamaji

Universidade Federal de São Carlos,
Departamento de Ciências Ambientais
Sorocaba – SP
<http://lattes.cnpq.br/4787449634914831>

Felipe Gomes Machado Cardoso

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Departamento de Engenharia de Energia
Rosana – SP
<http://lattes.cnpq.br/9624565822640874>

RESUMO: O trabalho tem por objetivo a densificação dos resíduos, a fim de verificar a formação dos briquetes de finos de carvão utilizando o capim jaraguá (*hypharrenia rufa*) como ligante e avaliar suas propriedades físicas e energéticas. Uma mistura de 75% capim jaraguá e 25% de finos de carvão foi feita obtendo-se um poder calorífico superior de 21023J/g. Com uma prensa hidráulica efetuou-se a briquetagem das amostras há uma pressão de 15.000 e tempo de um minuto. Analisou-se a expansão volumétrica, a análise química imediata e o teste de durabilidade dos briquetes. Através da expansão volumétrica observou-se uma expansão de 11% para os briquetes de capim e 8% para os briquetes produzidos a partir da blenda. Por meio da análise química imediata realizada em triplicata, observou-se que a blenda apresentou 10,3% de teor de cinzas e desvio padrão de 0,4% e 42,7% de teor de voláteis com desvio padrão de 13,4%, resultando em 47% de carbono fixo. No teste de durabilidade obteve-se uma durabilidade de 13% para a blenda e para o briquete de capim jaraguá de 93% de durabilidade. Pode-se comprovar que o capim jaraguá mostrou-se apto para utilização como ligante, pois permitiu uma estruturação e consequentemente a formação de briquetes utilizando finos de carvão.

PALAVRAS - CHAVE: Bioenergia, densificação, biomassa.

JARAGUÁ GRASS AS A BINDER IN FINE COAL BRIQUETTES

ABSTRACT: The work aims to densify the residues, in order to verify the formation of fine coal briquettes using jaraguá grass (*hypharrenia rufa*) as a binder and to evaluate their physical and energetic properties. A mixture of 75% jaraguá grass and 25% fines of coal was made obtaining a higher calorific value of 21023J / g. The samples were briquetted with a hydraulic press at a pressure of 15,000 and time of one minute. Volumetric expansion, immediate chemical analysis and durability test of briquettes were analyzed. Through the volumetric expansion an expansion of 11% was observed for the briquettes of grass and 8% for the briquettes produced from the blend. Through immediate chemical analysis carried out in triplicate, it was observed that the blend had 10.3% ash content and 0.4% standard deviation and 42.7% volatile content with 13.4% standard deviation, resulting in 47% of fixed carbon. In the durability test, a durability of 13% was obtained for the blend and for the jaraguá grass briquette of 93% durability. It can be proved that the jaraguá grass proved to be suitable for use as a binder, as it allowed for a structure and consequently the formation of briquettes using fine coal.

KEYWORDS: Bioenergy, densification, biomass.

INTRODUÇÃO

O Brasil é privilegiado pela diversidade energética presente em sua extensão territorial, suas culturas sazonais proporcionam grandes volumes de biomassa, as quais contam com um elevado potencial de inserção na geração de energia elétrica ou utilização em processos que compartilham da energia térmica. Segundo Nones et al. (2017) define-se biomassa, como todo resíduo animal e vegetal proveniente do meio ambiente ou de processos industriais, agroindustriais e agrícolas. Segundo Chrisostomo (2011) e Nakashima et al. (2017) o Brasil possui vantagens devido às condições climáticas, com a disponibilidade de resíduos florestais e agroindustriais durante todo ano. Tais resíduos apresentam algumas problemáticas como o alto teor de umidade, dificuldade para transporte, armazenamento, além de possuir um baixo poder calorífico comparado com os combustíveis fósseis.

As indústrias estão em transformações, onde o principal interesse é pela eficiência energética da planta industrial como um todo. Segundo Tavares e Tavares (2015) a briquetagem é o processo utilizado para concentrar uma maior quantidade de resíduo em um menor volume, reduzindo a umidade e permitindo uma uniformidade para transporte. De acordo com Dias (2012) como o país é um dos maiores produtores agrícolas e florestais do mundo, a quantidade de biomassa residual representa uma enorme quantidade de energia, o aproveitamento mais eficiente de toda essa energia acontece quando aplicado o processo de densificação.

O carvão vegetal é obtido através da pirólise da madeira, sendo um dos resíduos mais utilizados pelas siderúrgicas. De acordo com Crestana (2009) crescem os plantios de eucalipto para a produção deste, já que geram um produto de alta qualidade. De acordo com Pereira (2009) e Oliveira (2013) devido à sua fragilidade, o carvão vegetal possui

capacidade de se fragmentar em pequenos pedaços durante a produção, transporte e seu manuseio, gerando em torno de 25% de finos, os quais são descartados. De acordo com Martins et al. (2016) diferente de países desenvolvidos, o Brasil utiliza em larga escala o carvão no setor industrial, boa parte da totalidade voltada ao setor siderúrgico. Há uma necessidade imediata na reutilização e recuperação desses finos, uma forma de tornar o processo mais eficiente e reduzir o descarte impróprio deste, além de possuir elevado potencial energético.

Conforme Freitas (2016) por se tratar de uma cultura sazonal e com plantios voltados a pastagem animal, muitos tipos de gramíneas apresentam elevadas quantidades de biomassa podendo resultar em um alto potencial energético. Dentre estes tipos de gramíneas, o capim jaraguá (*hypharrenia rufa*) caracteriza-se por possuir hastes rígidas, capazes de atingir 6 m de altura. De acordo com Silva et al. (2018) destaca-se o cultivo de biomassa lignocelulósica, esse cultivo em sua maioria é utilizado na alimentação de bovinos e outros animais, também conta com uma elevada eficiência no processo de conversão da energia solar através da fotossíntese.

O objetivo deste trabalho é fazer a densificação do capim jaraguá e a blenda de capim jaraguá e finos de carvão vegetal eucalipto citriodora (*corymbia citriodora*), a fim de verificar a formação dos briquetes de finos de carvão utilizando capim jaraguá como ligante, bem como a análise química imediata, poder calorífico superior e teste de durabilidade.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia adotada no trabalho é representada pela figura (1).

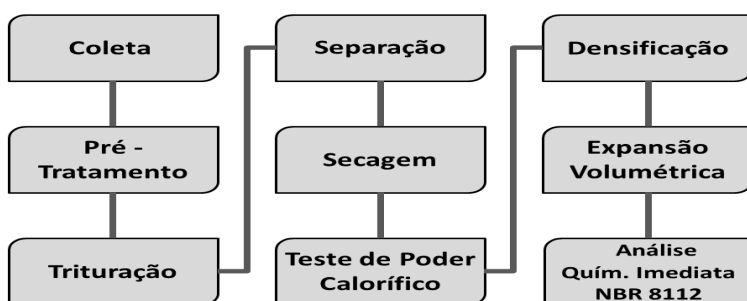


Figura 1- Metodologia adotada na execução das etapas do trabalho.

Fonte: Autoria própria, (2020).

PREPARO DO MATERIAL

Foram coletados cerca de 5 kg de capim jaraguá em lavouras na região de Auriflamma-SP, assim como foram coletados cerca de 6 kg de finos de carvão eucalipto citriodora (*Corymbia citriodora*), cedidos pela empresa Carvão Vegetal Vila Aurea situada na cidade de Auriflamma-SP.

Realizou-se o pré-tratamento do capim jaraguá, que compreendeu a secagem em uma estufa à 105°C (±0,5) até atingir um teor de umidade em torno de 10% a 12%. Em seguida a trituração por meio de um moinho de facas, para, em seguida, ser armazenada em sacos plásticos e encaminhada para as análises. O material utilizado para a produção dos briquetes não teve separação de granulometrias através de peneiras, porém ao realizar-se a análise química imediata, foi necessário realizar a separação do material na granulometria de 60 mesh (0,250 mm), como estabelece a norma utilizada ABNT NBR 8112/86.

CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

A análise química imediata foi realizada em triplicata. Para determinação do teor de voláteis, utilizou-se aproximadamente 1,0 g de amostra seca. Cada amostra foi acondicionada em um cadinho de porcelana previamente pesado e tarado, o qual foi tampado e conduzido a uma mufla à temperatura de 900 (± 10 °C), em que permaneceu por 3 min sobre a porta aberta, por 3 min no interior da mufla com a porta aberta e por 7 min no seu interior com a porta fechada. O teor de materiais voláteis é a fração da biomassa que gaseifica em temperatura elevada. O cálculo do teor de matérias voláteis pode ser dado pela equação (1).

$$MV = \frac{m_2 - m_3}{m} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

MV = teor de matérias voláteis, em %;

m₂ = massa inicial do cadinho + amostra, em g;

m₃ = massa final do cadinho + amostra, em g;

m = massa da amostra, em g;

Em síntese, o teor de umidade é obtido através da razão entre a quantidade de água da amostra e a massa inicial da amostra. Os teores seguintes são obtidos em base seca (bs), ou seja, sem umidade. O cálculo do teor de umidade pode ser dado pela equação (2).

$$TU = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

TU = teor de umidade, em %;

m0 = massa inicial da amostra, em g;

m1 = massa final da amostra, em g;

Para a análise do teor de cinzas, pesou-se aproximadamente 1,0 g de material seco em um cadinho de porcelana. Cinzas são o que resta do material após ser submetido à alta temperatura (700 °C) por cerca de 5h. Após esse intervalo, o cadinho foi colocado e mantido em dessecador até atingir a temperatura ambiente, aferindo-se a massa final. O teor de cinzas foi determinado pelo cálculo da massa residual pós-aquecimento, em porcentagem dado pela equação (3).

$$CZ = \frac{m1-m0}{m} \times 100 \quad (3)$$

Onde:

CZ = Teor de cinza, em %;

m1 = massa do cadinho + cinzas, em g;

m0 = massa do cadinho, em g;

m = massa da amostra, em g;

Por fim, o teor de carbono fixo foi calculado subtraindo-se da totalidade (100%) a soma dos teores de voláteis e de cinzas das amostras, dado pela equação (4).

$$CF = 100 - (CZ + MV) \quad (4)$$

Onde:

CF = teor de carbono fixo, em %;

CV = teor de cinza, em %;

MV = teor de matérias voláteis, em %;

O poder calorífico é a relação entre a quantidade de calor liberada por um material e o volume desse material. Tal teste foi realizado em bomba calorimétrica localizado no laboratório de biomassa e bioenergia da UFSCAR- Campus de Sorocaba, seguindo a norma ASTM-D2015-96. Com os resultados destes testes, pode-se avaliar a qualidade do material e compará-lo com outros materiais, a fim de determinar se trata de um combustível propício para a aplicação desejada.

PROCESSO DE BRIQUETAGEM

Colocou-se cerca de 20g da biomassa no molde metálico cilíndrico para, em seguida, este através de uma prensa hidráulica ser submetido à pressão de 15 toneladas por aproximadamente um minuto. Foram confeccionados 15 briquetes de capim jaraguá e 15 briquetes da blenda, sendo 75% capim jaraguá e 25% finos de carvão, tal proporção foi

escolhida para que houvesse a formação dos briquetes, suas dimensões foram medidas nos intervalos de um, três, cinco, sete, 12, 24, 48 e 72 horas após a compactação, dessa forma pode-se conhecer a taxa de expansão volumétrica (cm³) dos briquetes através do tempo (horas).

TESTE DE DURABILIDADE

Realizou-se o teste de durabilidade de acordo com a CEN/TS 15210-2, o processo consiste em colocar 100g de briquetes há uma rotação de 21 ($\pm 0,1$) rpm, até atingir 105 rotações. Os resultados foram obtidos através da equação (5).

$$DU = \frac{ma}{me} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

DU = Durabilidade, em %;

me = massa dos briquetes antes do teste, em g;

ma = massa dos briquetes após o teste, em g;

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise Química Imediata

Os dados da caracterização dos materiais encontram-se contidos na tabela 1, onde se tem o teor de cinzas, teor de materiais voláteis, teor de carbono fixo e o poder calorífico superior. Tais dados foram comparados com outros resíduos similares obtidos por Brand et al. (2015), Martins et al. (2016) e Nakashima et al. (2017). Dentre os resultados é possível notar que a blenda de capim jaraguá e finos de carvão apresentou a melhor relação quando comparados aos resíduos outros resíduos, seu PCS e teor e cinzas são superiores ao resultado apresentado por Martins et al. (2016).

Resíduos	CZ (%)	MV (%)	CF (%)	PCS (MJ/kg)
Neste trabalho				
Capim jaraguá	6,81 \pm 0,40	78,44 \pm 0,52	14,75 \pm 0,53	17,28
Finos de carvão	13,85 \pm 1,37	25,60 \pm 30,67	60,55 \pm 21,66	23,86
Blenda capim jaraguá/ finos de carvão	10,30 \pm 0,04	42,69 \pm 13,37	47,01 \pm 13,61	21,02
Nakashima				
Capim elefante	3,80	78,98	17,22	17,20
Martins				
Finos de carvão + amido	18,33	27,50	54,17	18,29
Brand				

Tabela 1 – Análise química imediata e poder calorífico superior da blenda de 75% capim jaraguá e 25% finos de carvão.

Fonte: Autoria própria, (2020).

EXPANSÃO VOLUMÉTRICA

Os dados da expansão volumétrica encontram-se na figura 1, onde trata-se de um gráfico de volume por tempo dos briquetes produzidos de capim jaraguá e da blenda. Percebe-se que os briquetes produzidos a partir da blenda sofreram um desvio após 24 horas, esse fato ocorreu por conta dos finos de carvão começarem a se esfrelar com o manuseio e pela blenda absorver umidade do ambiente durante sua expansão. Já os briquetes de capim jaraguá tem uma expansão contínua ao longo do prazo de 72 horas, não apresentando grande desvio mesmo absorvendo umidade do ambiente, demonstrando tendência de estabilizar sua expansão após 24 horas. Observou-se uma expansão de 11% para os briquetes de capim e 8% para os briquetes produzidos a partir da blenda.

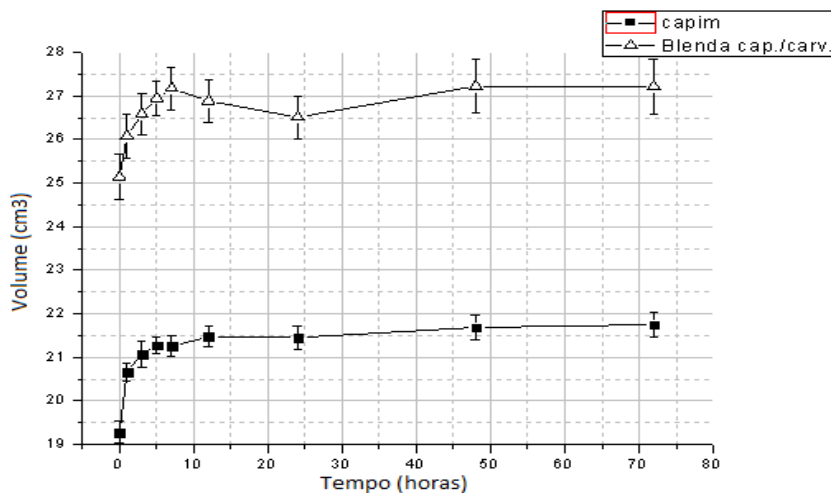


Figura 2 - Expansão volumétrica dos briquetes produzidos a partir da blenda de 75% capim jaraguá e 25% finos de carvão e 100% capim jaraguá.

Fonte: Autoria própria, (2020).

TESTE DE DURABILIDADE

No teste de durabilidade dos briquetes, obteve-se uma durabilidade de 13% para a blenda e 93% para o briquete de capim jaraguá. Segundo Garcia (2010) pellets de madeira produzido no Brasil, através do método descrito pela norma CEN/TS 15210-2, apresentam alta durabilidade mecânica com medida superior a 80%. A blenda fez com que

fosse possível produzir briquetes de fino de carvão, pois o capim jaraguá, conseguiu agir como ligante e estruturar o briquete, visto que briquetes somente de finos de carvão não conseguem ser produzidos.

CONCLUSÃO

Observa-se que os briquetes 100% de finos de carvão não conseguiram manter uma estrutura adequada. Com o estudo realizado e através do teste de durabilidade, pode-se comprovar que o capim jaraguá mostrou-se apto para utilização como ligante, pois permitiu uma estruturação e conseqüentemente a formação de briquetes utilizando finos de carvão. Em trabalhos futuros pretende-se estudar blendas com porcentagens diferentes, a fim de verificar uma melhor composição para a produção desses briquetes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) #2018/14827-8.

REFERÊNCIAS

Chrisostomo, W. **Estudo da Compactação de Resíduos Lignocelulósicos Para Utilização Como Combustível Sólido**. 2011. 56p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais) – Universidade Federal de São Carlos – Campus Sorocaba.

Crestana, M.S.M.; Moreira, R. **Plantio de Eucalipto**. 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2009_3/eucalipto/index.htm>. Acesso em: 8/4/2020

Dias, José Manuel Cabral de Sousa. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Embrapa Agroenergia. 2012. 130 p.

Freitas, Giovany Martins de. **BIOMASSA, UMA FONTE DE ENERGIA**. 2016. 110 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

Garcia, D. P. **Caracterização química, física e térmica de pallets de madeira produzidos no Brasil**. 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – FEG/UNESP – Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2010.

Martins, Mariana Provedel et al. **PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DE BRIQUETES DE FINOS DE CARVÃO VEGETAL COMPACTADOS COM RESÍDUO CELULÓSICO PROVENIENTE DA INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE1**. *Revista Árvore*, [s.l.], v. 40, n. 1, p.173-180, fev. 2016.

Nakashima, Gabriela T. et al. **Lignocellulosic Materials: Characterization and Production of Briquettes**. *Revista Virtual de Química*, [s.l.], v. 9, n. 1, p.150-162, 2017.

Nones, Daniela Letícia et al. **Biomassa residual agrícola e florestal na produção de compactados para geração de energia. Revista de Ciências Agroveterinárias**, [s.l.], v. 16, n. 2, p.155-164, 20 jun. 2017.

Oliveira, Ricardo. **Moulding briquettes with fine charcoal bonded with paraffin: Characterization of some properties**. 2013. Thesis (Master in Material Science) – Center for Science and Technology for sustainability, Federal University of São Carlos, Sorocaba, 2013.

Pereira, F. A. **Estudo das propriedades e briquetes utilizando como aglutinante o adesivo de silicato de sódio**. 2008. 31 f. Monografia (Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

Silva, Diego A. da et al. **Effect of the Particle Size on Compaction of Elephant Grass Biomass. Revista Virtual de Química**, [s.l.], p.323-333, 2018.

Tavares, Silvio Roberto de Lucena; TAVARES, Marília Amaral de Moura Estevão. **PRECIFICAÇÃO DA ENERGIA DISPONÍVEL NO BRIQUETE DE CARNAÚBA E CAPIM-ELEFANTE E NA LENHA DO SEMIÁRIDO POTIGUAR. Holos**, [s.l.], v. 5, p.271-277, 1 out. 2015.

Associação brasileira de normas técnicas. Título: NBR 8112: carvão vegetal: análise imediata: método de ensaio. Ano de publicação: 1986.

Solid biofuels – methods for the determination of mechanical durability of pellets and briquettes – Part 2: Briquettes CEN/TS 15210-2: 2005.

ASTM D2015-96. Standard test method for gross calorific value of coal and coke by the adiabatic bomb calorimeter; 1996.

POTENCIAIS APLICAÇÕES DA VINHAÇA DA CANA-DE-AÇÚCAR VISANDO A PRODUÇÃO MAIS LIMPA: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

Data de aceite: 20/08/2021

Data da submissão: 05/07/2021

Rodrigo Menezes Wheeler

UNISUL, Programa de Pós-graduação em
Ciências Ambientais
Palhoça, Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/1648150147219351>

Jéssica Mendonça Ribeiro Carginin

UNISUL, Programa de Pós-graduação em
Ciências Ambientais
Palhoça, Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/1917221902184447>

Ana Regina de Aguiar Dutra

UNISUL, Programa de Pós-graduação em
Ciências Ambientais
Palhoça, Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/3147098935379439>

Anelise Leal Vieira Cubas

UNISUL, Programa de Pós-graduação em
Ciências Ambientais
Palhoça, Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/1344283676317407>

Elisa Helena Siegel Moecke

UNISUL, Programa de Pós-graduação em
Ciências Ambientais
Palhoça, Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/9016477587974309>

Jair Juarez João

UNISUL, Programa de Pós-graduação em
Ciências Ambientais
Palhoça, Santa Catarina
<http://lattes.cnpq.br/8051652579140368>

RESUMO: O consumo de recursos fósseis visando a geração de energia intensifica a emissão de gases de efeito estufa (GEE), que por sua vez pressionam negativamente as mudanças climáticas globais. Diante da urgente necessidade de redução de emissões de GEE, utilizar combustíveis de fontes renováveis e menos poluentes é uma alternativa viável sob os pontos de vista ambiental, econômico e energético. No Brasil, o principal biocombustível produzido é o etanol de cana-de-açúcar. Contudo, neste processo é gerada a vinhaça, um subproduto que devido à alta carga orgânica, concentração de nutrientes e acidez tem grande potencial poluidor. Com o objetivo de elencar as possibilidades de uso da vinhaça foi feita uma revisão bibliográfica integrativa, considerando, após pré-seleção, 19 achados primários voltados à aplicação da vinhaça como insumo. Como conclusão foram elencados a digestão anaeróbia visando a obtenção de biogás, a utilização como fonte de nutrientes para o desenvolvimento de organismos e posterior extração de biomassa, ácidos orgânicos, álcoois e enzimas, assim como a tradicional aplicação *in natura* como fertilizante e suas variantes.

PALAVRAS - CHAVE: produção mais limpa, sustentabilidade, produção eficiente.

POTENTIAL APPLICATIONS OF SUGARCANE VINASSE CATEGORIES TO CLEANER PRODUCTION: AN INTEGRATIVE REVIEW

ABSTRACT: The usage of fossil resources aiming energy generation intensifies the emission

of greenhouse gases (GHG) which negatively impact the global climate changes. Considering the urgent need to reduce the emission of GHG it is a viable alternative to use renewable and less polluting fuels according to the environmental, economic, and energy perspectives. Sugarcane ethanol is the main biofuel produced in Brazil, but its process generates a subproduct called vinasse which has a great polluting potential due to its high organic load, nutrients concentration, and acidity. Aiming to list the possibilities of vinasse usage, after a pre-selection of 19 documents, an integrative bibliographic review was made considering the vinasse application as a production input. Anaerobic digestion to obtain biogas was listed, the usage of a nutrients source to the development of the organisms and subsequent biomass extraction, organic acids, alcohols, and enzymes, and the traditional application *in natura* as fertilizer and its variations.

KEYWORDS: cleaner production, sustainability, efficient production.

1 | INTRODUÇÃO

Há mais de dois séculos a sociedade explora com arrojo recursos fósseis não renováveis como carvão, petróleo e gás natural visando a geração de energia. Contudo, somente nas últimas três décadas a agenda climática e ambiental tem permeado as discussões globais. Durante esse período diversos cientistas e agências internacionais têm alertado sobre as consequências de médio e longo prazo vinculadas à utilização de combustíveis dessa natureza e sua capacidade de impactar negativamente nas mudanças climáticas mundiais. Os processos industriais, e, sobretudo, o alto consumo de combustíveis fósseis foram apontados como principais responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa (GEE). Aliados aos problemas climáticos, o esgotamento das fontes tradicionais não renováveis de energia e a instabilidade no preço do petróleo preocupa os mercados globais e impulsiona buscas constantes por fontes alternativas e renováveis de energia que atendam a demanda mundial (CASTAÑEDA-AYARZA; GODOI, 2021; DIAS *et al.*, 2018; RAJESH BANU *et al.*, 2021; VIEIRA *et al.*, 2020).

Diante da necessidade de reduzir o consumo de combustíveis fósseis e as emissões dos GEE, os biocombustíveis têm-se destacado como fontes renováveis promissoras para substituição dos derivados de petróleo, sendo produzidos no mundo todo (MORAES; ZAIAT; BONOMI, 2015). Embora existam diversas maneiras de gerar energia limpa a partir de fontes renováveis como vento, sol e água, o uso de biomassa torna-se apropriado devido o fornecimento de combustíveis líquidos, como o bioetanol e biodiesel, utilizados em transportes (ALALWAN; ALMINSHID; ALJAAFARI, 2019). A produção de bioetanol apresenta diversas vantagens, podendo ser obtido por meio do uso de inúmeras biomassas vegetais, encontradas em abundância na natureza, dentre elas: beterraba, sacarina, melão, milho, arroz, laticínios, cana de açúcar e materiais celulósicos. Além disso, é considerada uma fonte renovável e apresentam impactos ambientais inferiores quando comparados aos causados pela gasolina fóssil (HOARAU *et al.*, 2018).

Na América do Norte, o etanol é produzido a partir de biomassa de milho, enquanto países como Brasil, Índia e Tailândia produzem etanol a partir da cana de açúcar (HOARAU et al., 2018; SYDNEY et al., 2020). Atualmente no mercado mundial, Brasil e Estados Unidos ocupam posições de destaque no campo da produção de biocombustíveis, em 2017 produziram 60 e 27 milhões de m³ de etanol representando 85% da produção mundial e 75% do consumo de etanol. Em 2019, foram produzidos mundialmente aproximadamente 125 milhões de m³ de etanol e estima-se que em 2024 a produção chegará a 134 milhões de m³ (CASTAÑEDA-AYARZA; GODOI, 2021; HOARAU et al., 2018).

A cana-de-açúcar é uma das biomassas mais promissoras para obtenção de bioenergia e biocombustíveis no Brasil. Segundo estudos, a cana é a matéria prima mais eficiente para obtenção de etanol em termos de emissões de GEE quando comparada ao etanol proveniente de outras biomassas. A substituição da gasolina por etanol proveniente da cana reduz em 90% a emissão de GEE, enquanto o etanol proveniente do milho a taxa de redução varia entre 15% e 65%. Com o uso do etanol, entre os anos 2008 e 2018, foi possível evitar a emissão de 0,5 bilhões de toneladas de dióxido de carbono e estima-se que até 2030 sejam evitados a emissão de mais de 1,29 bilhões de toneladas de CO₂ (SYDNEY et al., 2020).

O processamento da cana-de-açúcar para obtenção de etanol, gerou resultados positivos econômicos, energéticos e ambientais para o Brasil. No entanto, a produção de etanol gera grandes volumes de vinhaça, principal subproduto da etapa de destilação do mosto alcoólico (BERNAL et al., 2017; ENG SÁNCHEZ et al., 2021). Segundo Hoarau *et al.*, (2018), as indústrias sucroalcooleiras produzem com uma tonelada de biomassa 12 L de etanol, 94 kg de açúcar e geram como resíduos 156 L de vinhaça e 250 kg de bagaço, representando a geração de 13 L de vinhaça por litro de álcool produzido. Estima-se ainda que, com o aumento da produção de etanol, sejam produzidos 1742 milhões de m³ de vinhaça em 2024.

A vinhaça é considerada um dos resíduos mais poluentes provenientes da produção de etanol. É um resíduo líquido, de cor escura e odor desagradável, seu potencial poluidor é 100 vezes maior quando comparados ao esgoto sanitário devido principalmente à sua alta carga orgânica, alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO), baixo pH (3,5 – 5,0). Além disso, a vinhaça possui em sua composição nutrientes como potássio, fósforo e nitrogênio, podendo variar conforme biomassa utilizada no processo de obtenção de etanol (HOARAU et al., 2018). Devido ao grande volume e da presença de nutrientes em sua composição, no Brasil, grande parte da vinhaça é utilizada como fertilizantes e para irrigar o próprio cultivo de cana, com objetivo de aproveitar seus nutrientes e diminuir o consumo de água. Contudo, essa prática pode ocasionar uma série de impactos ambientais como salinização e acidificação do solo, contaminação de águas subterrâneas, proliferação de insetos, liberação de odores desagradáveis, eutrofização de corpos hídricos, redução de oxigênio dissolvido e inibição de germinação (BERNAL et al., 2017; ENG SÁNCHEZ et al.,

2021; MARAFON et al., 2019). Em relação ao grande volume produzido de vinhaça, tem-se ainda o problema de transporte desse resíduo. A grande quantidade produzida torna inviável seu transporte por tubulações e bombas, sendo necessário fazê-lo por canais escavados abertos, ocasionando desta forma a emissão de GEE, podendo emitir 455 g de CO₂ por L de etanol (BERNAL et al., 2017).

Sendo assim, diante do exposto, o presente artigo tem como objetivo elaborar uma revisão integrativa que apresente as formas de utilização da vinhaça, buscando tornar a produção de etanol da cana de açúcar um processo produtivo mais sustentável.

2 | METODOLOGIA

Esta revisão foi elaborada considerando seis etapas principais: identificação do tema e seleção da questão da pesquisa, estabelecimentos de critérios de inclusão e exclusão de artigos, identificação dos estudos pré-selecionados, categorização dos estudos, análise e interpretação dos dados e síntese das informações. Para tal, as informações foram extraídas da base de dados *Science Direct*, utilizando as palavras-chave: “sugarcane vinasse”, “cleaner production”, “GHG reduction” e “ethanol production”. Não foram definidos intervalos temporais, idioma de publicação ou critérios quanto à originalidade dos dados.

Após a seleção primária dos artigos, que indexou 74 publicações, foram realizadas a leitura do título, palavras-chave e resumo dos 74 documentos, sendo excluídos os artigos que não mencionaram possíveis métodos de utilização da vinhaça de cana-de-açúcar, resultando em um conjunto de 19 referências publicadas entre os anos de 2014 e 2021.

Para a análise das possíveis aplicações da vinhaça bem como as palavras mais citadas nos artigos estudados, foi utilizado o software VOSviewer, que é capaz de gerar mapas de similaridades após considerar os dados bibliométricos dos artigos selecionados.

Para a análise e posterior síntese dos artigos que atenderam aos critérios de inclusão foi utilizado um quadro sinóptico com título da pesquisa, nome dos autores, intervenção proposta, resultados e recomendações/conclusões.

3 | REVISÃO INTEGRATIVA

Dentre os 19 artigos selecionados, 14 foram publicados por instituições brasileiras, 2 por instituições indianas, 2 por instituições tailandesas e 1 por instituição francesa (figura 1).

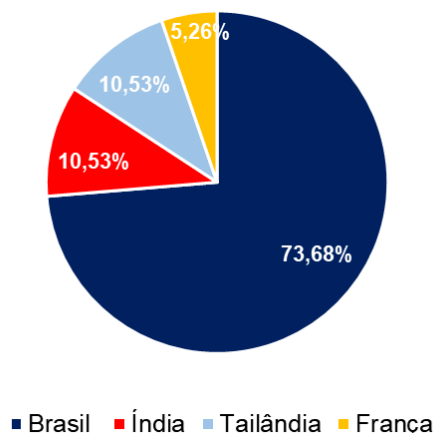


Figura 1 – Localização das instituições dos artigos selecionados.

Fonte: Autores, (2021).

Considerando que o Brasil detém aproximadamente 18% da produção e 36% do comércio mundial de açúcar do globo, justifica-se a maior produção de estudos e pesquisas que envolvam esta cadeia produtiva em detrimento de outras nações (VIDAL, 2020).

As palavras mais citadas nos artigos são apresentadas na figura 2, que representa a quantidade de ocorrências através do tamanho dos círculos e o ano da ocorrência através de sua cor.

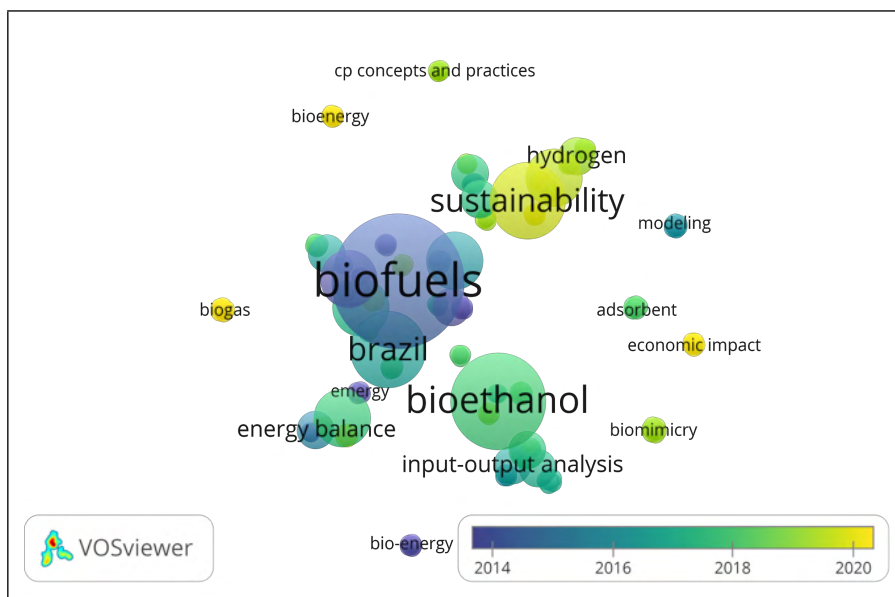


Figura 2 – Análise de ocorrência de palavras.

Fonte: Autores, (2021).

Considerando o resultado na análise de ocorrências, entre as palavras mais citadas nas publicações estão biocombustíveis, energia, bioetanol, sustentabilidade, hidrogênio, biogás e Brasil.

Dentre os 19 artigos selecionados, 11 artigos mencionam a produção de biogás (energia, hidrogênio e metano) como aplicação da vinhaça, 8 mencionam o seu uso como fertilizantes, 3 mencionam a produção de biomassa e 3 a produção de ácidos orgânicos.

Os artigos que mencionaram a utilização da vinhaça para a obtenção de biogás e posterior geração de energia foram majoritariamente publicados por instituições e pesquisadores brasileiros, 63,64%, contudo, foram selecionados artigos de instituições indianas, 18,18%, de instituições tailandesas, 9,09% e francesas, 9,09%. A maioria das obras, ou seja, 54,55% foram publicadas recentemente, entre 2020 e 2021, enquanto o restante foi publicado entre 2015 e 2019.

Considerando as publicações que reportaram a possibilidade de empregar a vinhaça como fertilizante, 3 foram publicados por instituições nacionais, 2 por instituições indianas, 2 por instituições tailandesas e um deles publicado por instituição francesa. Esta heterogeneidade demonstra que esta aplicação é difundida e dominada mundialmente. As obras foram publicadas com regularidade entre os anos de 2015 e 2021, com exceção de 2017.

Os três artigos que citaram o emprego da vinhaça como fonte de nutrientes para a produção de biomassa foram publicados por instituições de três países distintos, Brasil, Índia e França nos anos de 2020, 2021 e 2018 respectivamente. Os três artigos são bem fundamentados, especialmente a obra de Sydney et al., (2020) que apresenta conclusões de ensaios onde a vinhaça foi utilizada, diluída ou não, como meio de desenvolvimento de microrganismos distintos.

Considerando as publicações que reportaram a possibilidade de empregar a vinhaça como fertilizante, 3 foram publicados por instituições nacionais, 2 por instituições indianas, 2 por instituições tailandesas e um deles publicado por instituição francesa. Esta heterogeneidade demonstra que esta aplicação é difundida e dominada mundialmente. As obras foram publicadas com regularidade entre os anos de 2015 e 2021, com exceção de 2017.

Analisando os artigos que apresentavam a utilização da vinhaça de cana-de-açúcar na produção de ácidos orgânicos, 2 são recentes, publicados em 2020 e 2021 e outro publicado em 2018. Os três artigos foram publicados por instituições de países distintos, a publicação de 2021 é de instituição nacional, a obra de 2020 é de instituição indiana e o artigo de 2018 é francês.

4 | RESULTADOS E ANÁLISES

4.1 Fertilizantes

Atualmente, a principal aplicação da vinhaça é como fertilizante. Segundo Eng Sánchez *et al.*, (2021) 97% da vinhaça produzida nos engenhos brasileiros são voltadas para a fertirrigação do próprio cultivo de cana-de-açúcar a fim de reciclar os seus nutrientes. A vinhaça é um resíduo rico em nutrientes como potássio, fósforo, nitrogênio e sulfatos, possui alta carga de materiais orgânicos biodegradáveis e baixo pH. No entanto, essa prática comum pode causar alguns impactos negativos, como afetar a estrutura do solo, contaminar corpos d'água próximos e reduzir o rendimento das culturas (BERNAL *et al.*, 2017).

Uma alternativa para essa problemática seria a biodigestão da vinhaça, o qual reduziria a matéria orgânica do resíduo, mantendo suas propriedades para ser utilizado como biofertilizante. Segundo Marafon *et al.*, (2019), no processo de digestão a matéria orgânica presente na vinhaça é degradada em compostos mais simples. A redução da relação carbono/nitrogênio ocasionada pela biodigestão favorece a aplicação da biomassa digerida como biofertilizante e corretivo do solo. As vantagens de aplicar a vinhaça no próprio cultivo incluem o aumento na produção de cana-de-açúcar, a otimização de recursos hídricos, uma vez que a vinhaça possui em sua composição 93% de água e a redução do uso de fertilizantes químicos (SYDNEY *et al.*, 2020).

Segundo Hoarau *et al.*, (2018) o pré tratamento anaeróbio é capaz de reduzir a toxicidade da vinhaça, possibilitando sua aplicação em concentrações de até 10% para irrigação de outros cultivos, como milho e hortaliças, gerando maior crescimento de raiz, número de folhas, biomassa, proteína e amido. Algumas plantas mostraram-se mais resistentes, sendo possível aplicar concentrações de vinhaça de até 50% sem efeitos inibitórios.

4.2 Biogás

Outro método de aplicação da vinhaça tem atraído a atenção de pesquisadores e industriais por seus resultados: a digestão anaeróbia. Moraes, Zaiat e Bonomi, (2015) descrevem a digestão anaeróbica como um conjunto de processos metabólicos vinculados à atividade de ao menos três grupos de microrganismos, bactérias acidogênicas, bactérias acetogênicas e arqueas metanogênicas, que ocorrem na ausência de oxigênio molecular e na presença de matéria orgânica (WIRTH *et al.*, 2012).

Durante o processo, gases com grande potencial energético, como hidrogênio e metano, são formados. Enquanto o hidrogênio é gerado pelos microrganismos acidogênicos durante a acidificação da vinhaça, o metano, constituinte principal do biogás, é produzido pelos microrganismos metanogênicos, que utilizam o hidrogênio gerado na etapa anterior como substrato (SYDNEY *et al.*, 2020).

O hidrogênio é um gás combustível de queima ambientalmente limpa e possui grande potencial calorífico, 122 MJ/Kg. Esse potencial supera o poder calorífico de diversos combustíveis, como o gás natural, com 47 MJ/Kg, o diesel, com 43 MJ/Kg, e o carvão mineral, com 25 MJ/Kg (KAPDAN; KARGI, 2006). Diante das vantagens proporcionadas por este combustível, o hidrogênio é considerado uma alternativa promissora para geração de energia e aplicações industriais (SHARMA; GHOSHAL, 2015).

O biogás é outro combustível com grande potencial de uso e por isso também é considerado uma alternativa promissora ao uso de combustíveis fósseis. Após ser submetido a processos de purificação, obtém-se valor calorífico semelhante ao observado no gás natural, 47 MJ/Kg, com a vantagem de ser obtido a partir de matriz renovável com grande disponibilidade (SZYMANSKI; BALBINOT; SCHIRMER, 2010).

Atualmente o processo de biodigestão anaeróbia é considerado a principal e mais vantajosa alternativa para a gestão da vinhaça produzida nas biorrefinarias de açúcar e álcool. A técnica de biodigestão anaeróbia supera a fertirrigação da vinhaça *in natura* pois apresenta algumas vantagens incluindo a grande redução da carga orgânica presente e os gases produzidos têm grande potencial para utilização na geração de energia, que em excesso é descarregada na rede, gerando receita (MORAES; ZAIAT; BONOMI, 2015).

A tabela 1 apresenta a caracterização da vinhaça antes e depois do processo de digestão anaeróbia. Fica evidente que a remoção de nutrientes essenciais para o desenvolvimento da lavoura como nitrogênio, fósforo e potássio em sistemas de biodigestão anaeróbia é desprezível, o que significa que o potencial fertilizante da vinhaça é mantido no efluente digerido. Além de manter esta característica, o pH da vinhaça é corrigido no processo, o que é benéfico para a lavoura e o desenvolvimento de microrganismos essenciais à saúde do solo (MORAES; ZAIAT; BONOMI, 2015).

Características	Vinhaça (antes da digestão)	Vinhaça (depois da digestão)
pH	4	6,9
DQO (g/L)	29	9
N total (g/L N)	0,55	0,6
N amoniacal (g/L)	0,04	0,22
Potássio (g/L O)	1,4	1,4
Fósforo (g/L)	0,017	0,032
Sulfato (g/L)	0,45	0,032

Tabela 1 - Caracterização da vinhaça antes e após processo de digestão anaeróbia.

Fonte: Adaptado de Marafon *et al.*(2019).

4.3 Obtenção de ácidos orgânicos

Poucos são os estudos que relatam a obtenção de ácidos orgânicos através da digestão anaeróbica da vinhaça, a maioria das pesquisas é voltada para a produção de biocombustíveis como biohidrogênio e metano. Segundo Eng Sánchez *et al.*, (2021) a digestão anaeróbica da vinhaça é capaz de gerar intermediários de fase solúvel, os quais possuem valor agregado e diversas aplicações.

A digestão anaeróbica pode ser dividida em quatro fases: hidrólise, acetogênese, acidogênese e metanogênese, onde ao final das quatro etapas, tem-se biogás rico em metano que pode ser convertido posteriormente em eletricidade, combustíveis entre outras aplicações. Os ácidos orgânicos são formados na etapa acidogênica e consumidos na etapa metanogênica, sendo assim para obtenção de ácidos é necessária uma atenção maior no processo acidogênico. Através do processo de acidogênese é possível obter uma extensa variedade de ácidos orgânicos como ácido acético, propiônico, butírico e láctico e álcoois como etanol e butanol (ENG SÁNCHEZ *et al.*, 2021; MORAES; ZAIAT; BONOMI, 2015).

Segundo Hoarau *et al.*, (2018) o ácido láctico é o mais estudado por ser um produto químico versátil, podendo ser utilizado em diversos processos industriais como aromatizante, acidificante, amaciante de couro, antimicrobiano e como conservante. O ácido propiônico, é comumente utilizado na produção de aromatizantes artificiais, emulsificantes, perfumes, fungicidas e herbicidas, sendo muito utilizados em indústrias alimentícias e farmacêuticas. O ácido butírico, por sua vez, pode ser utilizado em indústrias alimentícias, na produção de emulsificantes e plastificantes.

Os ácidos orgânicos, atualmente, são obtidos através de processos químicos utilizando recursos fósseis. No entanto, estes também podem ser obtidos através do processo de digestão de efluentes ricos em matéria orgânica, assim como a vinhaça. Desta forma, a biodigestão da vinhaça para obtenção de ácidos orgânicos, pode ser um caminho alternativo para seu uso, apresentando vantagens quando comparado aos processos químicos e condizendo com o desenvolvimento de fontes de energia sustentáveis, uso de matérias-primas de baixo custo e reaproveitamento dos resíduos (ENG SÁNCHEZ *et al.*, 2021).

4.4 Produção de biomassa

Considerando as características principais da vinhaça, como fonte de nutrientes e relação DQO/DBO média, situação que indica a biodegradabilidade, e por existirem limitações ambientais que restringem seu uso *in natura* como fertilizante, outra alternativa é utilizá-la como fonte de nutrientes para a produção de biomassa microbiana e metabólitos (NASPOLINI *et al.*, 2017).

A produção de biomassa demanda pouca adaptação nos processos já existentes nas biorefinarias e tem grande potencial para gerar receita a partir de resíduo que diversas

vezes é descartado. A vinhaça excedente, que não é aproveitada para fertirrigação, é disposta em locais chamados de “áreas de sacrifício”, locais que devido às características da vinhaça e volume descartado, tornam-se impróprios para o cultivo. O descarte da vinhaça, além de tornar o solo improdutivo, também pode ocasionar processos de erosão do solo, eutrofização de cursos d’água, contaminação subaquática devido à lixiviação de ânions e desertificação - condições já observadas no Brasil (SYDNEY et al., 2020).

Os fungos, além de adaptarem-se às características da vinhaça, são organismos capazes de degradar compostos complexos presentes, como meloidinas e compostos fenólicos (PARNAUDEAU et al., 2008). Estes organismos são conhecidos por produzir enzimas, que tem uma vasta aplicação industrial, e possuem alto teor de proteína, o que os torna uma opção para a indústria de nutrição animal. Este processo alia o alto valor agregado da biomassa gerada à redução considerável do potencial poluidor da vinhaça, o que é valioso sob a ótica da produção mais limpa (SYDNEY et al., 2020).

Devido às características da vinhaça como seu alto teor de potássio, fósforo e magnésio, este substrato é bastante explorado para a produção de microalgas. A produção de microalgas tem inúmeras vantagens, pois esses organismos são boas fontes de lipídios, que podem ser utilizados para a produção de biodiesel, e carboidratos e proteínas, que tem grande aplicação na indústria de nutrição animal, além de serem excelentes fixadores de dióxido de carbono, e possuem taxa de crescimento e fotossíntese maiores do que culturas terrestres (BHOLA et al., 2014).

A tabela 2 apresenta estudos que descrevem o crescimento de fungos e microalgas em meio à base de vinhaça de cana de açúcar.

Microorganismo	Condições da cultura	Interesse	Aplicação	Vantagens ambientais	Referência
<i>Rhizopus oligosporus</i>	75% de vinhaça + nitrogênio + fósforo	Proteína	Alimentação	80% de redução de DQO	(NITAYAVARDHANA; KHANAL, 2010)
<i>Aspergillus oryzae</i> , <i>Neurospora intermedia</i> , <i>Rizhopus oryzae</i> , <i>Monascus purpureus</i> e <i>Fusarium venenatum</i>	≤ 50% de vinhaça	Proteína	Alimentação de peixes	33-46% de redução de DQO	(KARIMI et al., 2019)
<i>Trametes versicolor</i>	10% de vinhaça	Lacase	Tratamento biológico	60% de redução de DQO, 80% de redução de fenol, 20% de redução de cor	(ESPAÑA-GAMBOA et al., 2015)

<i>Pleurotus sajorcaju</i> , <i>Pleurotus ostreatus</i> and <i>Trichoderma reesei</i>	Bagaço alcalino tratado + vinhaça	Enzimas celulolíticas e lignolíticas	Produção de enzimas	-	(AGUIAR; FERREIRA; MONTEIRO, 2010)
<i>Pleurotus sajorcaju</i> , <i>P. ostreatus</i> , <i>P. albidus</i> and <i>P. flabellatus</i>	Vinhaça <i>in natura</i>	Biomassa	Alimentação de peixes	-	(SARTORI et al., 2015)
<i>Scenedesmus sp.</i>	<i>Guillard</i> adaptado + 40% de vinhaça	-	Avaliação de vinhaça como fonte de nutrientes	-	(RAMIREZ; FARENZENA; TRIERWEILER, 2014)
<i>Micractinium sp.</i> e <i>Chlamydomonas biconvexa</i>	Vinhaça clarificada e 50% diluída	Biomassa	Produção de biomassa	67% de redução de açúcares redutores	(SANTANA et al., 2017)

Tabela 2 – Exemplos de estudos que cultivaram algas e fungos em meio à base de vinhaça.

Fonte: Adaptado de Sydney et al., (2020).

5 | CONCLUSÕES

As biorefinarias de cana-de-açúcar são referências em produção de combustíveis de fontes renováveis, contudo geram diversos resíduos em suas operações, dentre eles a vinhaça, que por suas características, têm grande potencial poluidor e precisa ser gerenciada de forma ambientalmente correta.

Com o avanço das pesquisas e com a tecnologia mais acessível sob o ponto de vista econômico, diversas aplicações têm sido propostas à vinhaça, gerando resultados ambientalmente e economicamente benéficos à gestão da indústria de processamento de cana-de-açúcar.

Como a vinhaça é rica em diversos nutrientes, como fósforo, potássio e magnésio e possui grande carga orgânica, é possível utilizá-la em processos de fertirrigação, que une a fertilização e irrigação, nos canaviais da própria indústria, na geração de biogás e hidrogênio através da digestão anaeróbica, que além de agregar mais valor à indústria, mantém o potencial fertilizante do meio e como base para produção de microrganismos, como fungos e microalgas, visando a produção de biomassa, que é utilizada na indústria de nutrição, e metabólitos como enzimas e ácidos orgânicos, que possuem diversas aplicações industriais.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, M. M.; FERREIRA, L. F. R.; MONTEIRO, R. T. R. Use of vinasse and sugarcane bagasse for the production of enzymes by lignocellulolytic fungi. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 53, n. 5, p. 1245–1254, 2010.

ALALWAN, H. A.; ALMINSHID, A. H.; ALJAAFARI, H. A. S. Promising evolution of biofuel generations. Subject review. **Renewable Energy Focus**, v. 28, n. 00, p. 127–139, 2019.

BERNAL, A. P. et al. Vinasse biogas for energy generation in Brazil: An assessment of economic feasibility, energy potential and avoided CO₂ emissions. **Journal of Cleaner Production**, v. 151, p. 260–271, 2017.

BHOLA, V. et al. Overview of the potential of microalgae for CO₂ sequestration. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 11, n. 7, p. 2103–2118, 2014.

CASTAÑEDA-AYARZA, J. A.; GODOI, B. A. Macro-environmental influence on the development of Brazilian fuel ethanol between 1975 and 2019. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 137, n. October, p. 110457, 2021.

ENG SÁNCHEZ, F. et al. Value-added soluble metabolite production from sugarcane vinasse within the carboxylate platform: An application of the anaerobic biorefinery beyond biogas production. **Fuel**, v. 286, n. September 2020, 2021.

ESPAÑA-GAMBOA, E. et al. Phenol and color removal in hydrous ethanol vinasse in an air-pulsed bioreactor using *Trametes versicolor*. **Journal of Biochemical Technology**, v. 6, n. 3, p. 982–986, 2015.

HOARAU, J. et al. Sugarcane vinasse processing: Toward a status shift from waste to valuable resource. A review. **Journal of Water Process Engineering**, v. 24, n. May, p. 11–25, 2018.

KAPDAN, I. K.; KARGI, F. Bio-hydrogen production from waste materials. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 38, n. 5, p. 569–582, 2006.

KARIMI, S. et al. Evaluation of filamentous fungal biomass cultivated on vinasse as an alternative nutrient source of fish feed: Protein, lipid, and mineral composition. **Fermentation**, v. 5, n. 4, p. 1–19, 2019.

MARAFON, A. C. et al. **Use of sugarcane vinasse to biogas, bioenergy, and biofertilizer production**. [s.l.] Elsevier Inc., 2019.

MORAES, B. S.; ZAIAT, M.; BONOMI, A. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane ethanol production in Brazil: Challenges and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 44, p. 888–903, 2015.

NASPOLINI, B. F. et al. Bioconversion of sugarcane vinasse into high-Added value products and energy. **BioMed Research International**, v. 2017, 2017.

NITAYAVARDHANA, S.; KHANAL, S. K. Innovative biorefinery concept for sugar-based ethanol industries: Production of protein-rich fungal biomass on vinasse as an aquaculture feed ingredient. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 23, p. 9078–9085, 2010.

PARNAUDEAU, V. et al. Vinasse organic matter quality and mineralization potential, as influenced by raw material, fermentation and concentration processes. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 6, p. 1553–1562, 2008.

RAJESH BANU, J. et al. Integrated biorefinery routes of biohydrogen: Possible utilization of acidogenic fermentative effluent. **Bioresource Technology**, v. 319, n. August 2020, p. 124241, 2021.

RAMIREZ, N. N. V.; FARENZENA, M.; TRIERWEILER, J. O. Growth of microalgae *Scenedesmus* sp in ethanol vinasse. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 57, n. 5, p. 630–635, 2014.

SANTANA, H. et al. Microalgae cultivation in sugarcane vinasse: Selection, growth and biochemical characterization. **Bioresource Technology**, v. 228, p. 133–140, 2017.

SARTORI, S. B. et al. Pleurotus biomass production on vinasse and its potential use for aquaculture feed. **Mycology**, v. 6, n. 1, p. 28–34, 2015.

SHARMA, S.; GHOSHAL, S. K. Hydrogen the future transportation fuel: From production to applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 43, p. 1151–1158, 2015.

SYDNEY, E. B. et al. Current developments and challenges of green technologies for the valorization of liquid, solid, and gaseous wastes from sugarcane ethanol production. **Journal of Hazardous Materials**, 2020.

SZYMANSKI, M. S. E.; BALBINOT, R.; SCHIRMER, W. N. Biodigestão anaeróbia da vinhaça: aproveitamento energético do biogás e obtenção de créditos de carbono – estudo de caso Anaerobic digestion of vinasse: energetic application of biogas and acquisition of credits of carbon – a case. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 4, p. 901–912, 2010.

VIDAL, F. Produção e mercado de açúcar. **Caderno Setorial ETENE**, p. 1–9, 2020.

VIEIRA, S. et al. Journal Pre-proofs. 2019.

WIRTH, R. et al. Characterization of a biogas-producing microbial community by short-read next generation DNA sequencing. **Biotechnology for Biofuels**, v. 5, p. 1–16, 2012.

CAVITAÇÃO HIDRODINÂMICA COMO PRÉ-TRATAMENTO DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

Data de aceite: 20/08/2021

Data de submissão: 09/07/2021

Thiago Averaldo Bimestre

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá
<http://lattes.cnpq.br/9826766921192875>

Eliana Vieira Canettieri

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá
<http://lattes.cnpq.br/6966115493907695>

Celso Eduardo Tuna

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” UNESP – Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá
<http://lattes.cnpq.br/9535897335897207>

RESUMO: A cavitação hidrodinâmica desponta-se como uma promissora rota para o pré-tratamento de biomassa lignocelulósica liberando grandes magnitudes de energia e induzindo a transformações físicas e químicas, favorecendo o rompimento da matriz carboidrato-lignina. O uso da cavitação hidrodinâmica combinada com outras formas de pré-tratamento tem se mostrado uma atraente alternativa frente aos métodos convencionais com elevada eficiência de pré-tratamento, baixo consumo energético, aplicabilidade em larga escala com simples configuração. Esta revisão inclui uma visão geral desta promissora tecnologia aplicada ao

pré-tratamento de bagaço de cana-de-açúcar e uma discussão detalhada sobre o processo além dos parâmetros que afetam o fenômeno e as perspectivas futuras de desenvolvimento nesta área.

PALAVRAS - CHAVE: cavitação hidrodinâmica, pré-tratamento, cana-de-açúcar, biomassa, biorefinaria.

HYDRODYNAMIC CAVITATION FOR SUGARCANE BAGASSE PRETREATMENT: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

ABSTRACT: Hydrodynamic cavitation emerges as a promising route for lignocellulosic biomass pretreatment releasing large amounts of energy and inducing physical and chemical transformations, favoring the structural disintegration. The use of hydrodynamic cavitation combined with other forms of pretreatment has become an attractive alternative to conventional methods with high pretreatment efficiency, low energy consumption, large-scale applicability with simple configuration. This review includes an overview of this promising technology applied to the pretreatment of sugarcane bagasse and a detailed discussion about the process, as well as the parameters that affect the phenomenon and future development prospects in this area.

KEYWORDS: hydrodynamic cavitation, pretreatment, sugarcane bagasse, biomass, biorefinery.

1 | INTRODUÇÃO

Com o rápido desenvolvimento de nossa sociedade e o aumento exponencial da demanda por combustíveis e produtos químicos, fica evidente a necessidade urgente de se estabelecer novas técnicas e de se utilizar novos materiais para substituir os produtos a base de combustíveis fósseis, que além de não-renováveis também impactam negativamente o meio ambiente.

A busca por novas fontes energéticas renováveis tem provocado extensas pesquisas para o desenvolvimento de rotas biotecnológicas que permitam a utilização de biomassas residuais de composição lignocelulósica para se produzir novos produtos como biocombustíveis, biomateriais e produtos químicos.

Entre muitas rotas sustentáveis de produção, a biomassa lignocelulósica é o biopolímero natural mais abundante, tornando-se uma matéria-prima promissora (SARSAIYA *et al.*, 2019).

Os setores da agroindústria brasileira geram centenas de toneladas de resíduos lignocelulósicos a cada ano e que por vezes não são totalmente utilizados ou ainda estão em fase de estudos, tais como: casca e palha de arroz, coco verde, algodão, milho (sabugo e palhas), cana-de-açúcar (bagaço e palha), entre outras.

De acordo com o Balanço Energético Nacional de 2019 (BRASIL, 2019) a cana-de-açúcar e seus derivados apresentam-se como a segunda maior fonte energética do Brasil, em tonelada equivalente de petróleo (TEP), ficando à frente da hidroeletricidade e atrás apenas do petróleo. Abundante no país, o bagaço de cana-de-açúcar constitui-se um dos mais importantes subprodutos da indústria sucroalcooleira, sendo considerado estratégico para a segurança energética nacional (CONAB, 2018).

O bagaço de cana-de-açúcar é composto principalmente por celulose, hemicelulose e lignina, servindo como fonte de açúcares solúveis que através de processos químicos, enzimáticos e fermentativos podem fornecer biocombustíveis e uma variedade de bioprodutos, fornecendo uma plataforma para biorrefinarias.

Entretanto, o bagaço de cana-de-açúcar possui estruturas complexas que não proporcionam o seu uso direto e, portanto, a desconstrução da matriz lignocelulósica complexa altamente recalcitrante apresenta-se como o principal desafio a ser superado, através de uma etapa de pré-tratamento da biomassa.

Algumas novas tecnologias industriais vêm despontando como candidatas promissoras para soluções sustentáveis de pré-tratamento de biomassa lignocelulósica, como radiações ionizantes, campo elétrico pulsado, técnicas de ultrassom e a cavitação hidrodinâmica.

A cavitação hidrodinâmica é um fenômeno sequencial de vaporização, geração e implosão de microscópicas bolhas de vapor, liberando grandes magnitudes de energia ao longo de uma pequena extensão. O colapso ou implosão destas bolhas de vapor geram

altas temperaturas e pressões, as quais induzem a clivagem de moléculas de água para produzir radicais livres que favorecem a desconstrução da estrutura da biomassa (BADVE *et al.*, 2014).

Recentemente, muitas pesquisas vêm sendo realizadas em centros de pesquisa e universidades no Brasil e no mundo sobre a utilização da cavitação hidrodinâmica como pré-tratamento de materiais lignocelulósicos, como se observa nos estudos de Kim *et al.* (2015), Nakashima *et al.* (2016), Madison *et al.*, (2017), Sun *et al.*, (2018), Thanekar e Gogate (2019), Ren *et al.* (2020) e Bimestre *et al.* (2020).

Neste contexto, o presente estudo discute os desenvolvimentos recentes em tecnologias de cavitação hidrodinâmica no processo de pré-tratamento de bagaço de cana-de-açúcar, além dos parâmetros que afetam o fenômeno da cavitação e perspectivas de desenvolvimento futuro nesta área.

21 A CANA-DE-AÇÚCAR E A UTILIZAÇÃO DO BAGAÇO COMO FONTE ENERGÉTICA

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma planta herbácea de grande porte, angiosperma, pertencente à classe das monocotiledôneas, família *Poaceae* e gênero *Saccharum* (APG II, 2003). Pertence a mesma família do milho, do trigo, do arroz e da aveia, de extrema relevância econômica, devido sua utilização na alimentação humana e animal, além da produção de bebidas e fármacos.

O Brasil tem uma longa tradição de cultivo de cana-de-açúcar. Trazida do sudeste asiático, foi introduzida no Brasil pelos portugueses em 1530, sendo então considerado o maior fornecedor mundial de açúcar. Atualmente, a cana-de-açúcar é o terceiro maior cultivo brasileiro (13,5% do total em área plantada), atrás apenas da soja e do milho (IBGE, 2017). Estima-se que a cadeia produtiva da cana-de-açúcar tenha gerado, somente no primeiro semestre de 2017, um produto de R\$ 156 bilhões, mais de 1/5 do Produto Interno Bruto - PIB do agronegócio brasileiro, naquele período (BRASIL, 2017).

As variedades de cana-de-açúcar atualmente cultivadas no Brasil compreendem plantas geneticamente híbridas, obtidas por meio de cruzamento genético. O trabalho de melhoramento genético visa obter espécies resistentes a doenças, bem como com grande capacidade de concentração de sacarose (CARVALHO; FURTADO, 2013).

O cultivo da cana-de-açúcar é semiperene, permanecendo no solo por mais de uma colheita. É altamente vantajoso do ponto de vista econômico, devido a alta produtividade, ao uso eficiente de insumos agrícolas como água, fertilizantes e pesticidas, além disso pode ser localmente processada em diversos produtos de valor agregado, como o açúcar, o melado, o etanol e energia, todos passíveis de armazenamento e transporte (MOORE; PATERSON; TEW, 2014).

Dentre os resíduos ou subprodutos resultantes do processamento da cana-de-açúcar, destaca-se o bagaço: um resíduo fibroso obtido após o esmagamento da cana-de-

açúcar e extração de seu suco, que pode ser utilizado como fonte de biomassa renovável na produção de açúcares solúveis, que através de processos físico-químicos, enzimáticos e fermentativos pode fornecer combustíveis líquidos como o etanol biocombustível e uma variedade de produtos químicos como ácido láctico, ácido cítrico, xilitol e biohidrogênio.

Em geral, para cada tonelada de cana colhida, é produzido 280 kg de bagaço com 50% de umidade, além de 234 kg de palha (ASSAD, 2017). Estima-se que no Brasil em 2019 houve um acúmulo de 86 milhões de toneladas de bagaço de cana-de-açúcar (CONAB, 2018), constituindo-se um dos mais importantes subprodutos da indústria sucroalcooleira, sendo empregado na produção de vapor e energia elétrica (cogeração), garantindo a autossuficiência das usinas nos períodos de entressafra.

As quantidades remanescentes de bagaço podem ainda ser utilizadas em muitos processos industriais como por exemplo na produção de materiais compósitos, como aditivo na fabricação de concreto e blocos a partir das cinzas, produção de cerâmica e produtos refratários.

3 I PRÉ-TRATAMENTO DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICO

A etapa de pré-tratamento da biomassa tem como objetivo principal facilitar o acesso das enzimas a celulose, quebrando a estrutura formada pela lignina. Uma etapa de pré-tratamento efetivo modifica o tamanho, a estrutura e a composição química das partículas de biomassa, além de que deve limitar a produção de inibidores e reduzir custos de produção e demandas de energia (BHOWMICK; SARMAH; SEN, 2018). Segundo Ponnusamy *et al.* (2019), em geral, a sacarificação da biomassa lignocelulósica sem pré-tratamento pode produzir menos de 20% de açúcares agregados, no entanto, após o pré-tratamento, o rendimento pode subir para até 90%.

Os processos de pré-tratamentos de materiais lignocelulósicos podem ser classificados como físicos, químicos, físico-químicos, biológicos ou uma combinação de todos esses, o que dependerá do grau de separação requerido e do fim proposto. Para cada método de pré-tratamento, diferentes produtos e rendimentos podem ser obtidos, cada qual com suas vantagens e desvantagens.

Dentre os métodos de pré-tratamento físico pode-se destacar moagem (*milling*), extrusão (*extrusions*), congelamento (*freezing*) e irradiação de micro-ondas (*microwave irradiation*). Estes métodos reduzem o tamanho das partículas e aumentam a área superficial dos materiais lignocelulósicos, entretanto esses métodos não são eficazes isoladamente e são usados em combinação com outros (KUMARI; SINGH, 2018). Dentre os processos de pré-tratamentos químicos destacam-se os ácidos, alcalinos, solventes orgânicos (*organosolv*), ozônio (O₃) e líquidos iônicos. Os pré-tratamentos ácidos e alcalinos são os mais extensivamente utilizados devido a propiciarem alta solubilização da celulose e hemicelulose e remoção de lignina. Em geral os pré-tratamentos ácidos são realizados

em baixa concentração com elevadas temperaturas além disso requerem equipamentos específicos para trabalhar em condições químicas severas para evitar a corrosão do reator. Já o pré-tratamento alcalino pode operar a baixas temperaturas com longo tempo de residência, entretanto possui elevado consumo de água para lavar a biomassa pré-tratada, o que não é ecologicamente correto (HALDAR; PURKAIT, 2021). Os pré-tratamentos físico-químicos podem ser do tipo ultrassom (*Ultrasonication* - US), expansão da fibra em amônia (*Ammonia fiber explosion* - AFEx), auto hidrólise (*autohydrolysis*) ou explosão a vapor (*steam explosion pretreatment*), água quente líquida (*Liquid hot water* - LHW) e oxidação úmida (*Wet oxidation* - WO) (ABRAHAM *et al.*, 2020). Os métodos biológicos mais utilizados são: fúngico, microbiano e enzimático (RAI *et al.*, 2019). A geração de resíduos ambientalmente perigosos e/ou altos insumos energéticos é o gargalo dos processos de pré-tratamento de biomassa lignocelulósica e existe uma necessidade urgente de soluções tecnológicas verdes para este desafio (HASSAN; WILLIAMS; JAISWAL, 2018). Neste sentido, a cavitação hidrodinâmica desponta-se como uma promissora rota tecnológica para o pré-tratamento de biomassa lignocelulósica.

3.1 Cavitação Hidrodinâmica (HC)

Os primeiros estudos que relatam o uso da cavitação hidrodinâmica no pré-tratamento de biomassa foram conduzidos por Kim *et al.* (2015), utilizando o junco para a produção de etanol. Desde então, novos estudos têm sido conduzidos utilizando sabugo de milho para uso geral em biorrefinarias (NAKASHIMA *et al.*, 2016), bagaço de cana para produção do etanol (MADISON *et al.*, 2017) e palha de trigo para produção do biogás (PATIL *et al.*, 2016).

A cavitação hidrodinâmica é definida como a geração, o crescimento subsequente e o colapso de cavidades de vapor (microbolhas), formadas quando a pressão absoluta de um escoamento se iguala ou cai abaixo da pressão de vapor do líquido à temperatura do escoamento. A variação de pressão é causada por constrições como tubos de Venturi, placas de orifício e válvulas de estrangulamento. Ao passar pela constrição ocorre a diminuição da pressão do escoamento, que cai abaixo da pressão de vapor do líquido, formando as cavidades de vapor que após a constrição colapsam devido a recuperação de pressão e um fluxo mais lento. Esse colapso é forte o suficiente para liberar grandes magnitudes de energia em um espaço muito pequeno, resultando em densidades de energia extremamente altas (SHRIKANT; KHAMBETE, 2017).

A implosão das cavidades de vapor pode gerar localmente altas temperaturas, da ordem de 5.000 a 10.000K e pressões de 1.000 a 2.000 atm (KIM *et al.*, 2015), o que induz a transformações físicas e químicas, produzindo radicais oxidativos fortes como o radical hidroxila (OH[•]), devido a decomposição das moléculas de água, favorecendo o rompimento da matriz carboidrato-lignina (BADVE *et al.*, 2014).

Nakashima *et al.* (2016) e Hilares *et al.* (2017a) afirmam também que o violento

colapso das microbolhas provoca vigorosa turbulência e ondas de choque, que são responsáveis pela pirólise/decomposição molecular das moléculas orgânicas presas no interior ou na vizinhança das cavidades de vapor, contribuindo para a desintegração estrutural e aumento da porosidade da biomassa, tornando-a mais suscetível a hidrólise enzimática.

Em relação a dinâmica das bolhas de vapor, Madison *et al.* (2017) descrevem que há duas características principais: o tamanho máximo da bolha e a distância percorrida por ela antes do colapso, ou seja, a sua vida útil. O tamanho máximo da bolha define a intensidade da cavitação. As bolhas crescem a baixa pressão ou altas temperaturas, sendo que bolhas maiores implodem com maior intensidade e podem causar maiores efeitos em uma substância do que bolhas menores.

A cavitação hidrodinâmica pode ser também produzida pela rotação mecânica de um objeto através de um líquido, ocorrendo também na entrada de bombas centrífugas e na saída dos rotores de turbinas hidráulicas. Embora seja um fenômeno indesejado na área de máquinas hidráulicas, a cavitação hidrodinâmica vem sendo aplicada no tratamento de água e efluentes, limpeza industrial e em processos biotecnológicos.

A cavitação hidrodinâmica tem a capacidade de oxidar substâncias orgânicas aliada ao baixo custo de operação quando comparada a outros processos de pré-tratamento. Além disso é de fácil operação, pode ser aplicada em maior escala, menos poluente com nenhum subproduto formado e pode ser utilizada em conjunto com outras formas de pré-tratamento, como os meios reacionais ácidos e alcalinos para melhorar a eficiência do processo. Segundo Thanekar e Gogate (2019) a eficácia da cavitação hidrodinâmica também pode ser aumentada usando-se aditivos de intensificação do processo, como o peróxido de hidrogênio e o ozônio.

3.2 Reatores de Cavitação Hidrodinâmica

O reator de cavitação hidrodinâmica é um circuito composto basicamente por uma bomba que faz a mistura reacional circular através do reator, além de válvulas de controle, medidores de pressão e temperatura. Os reatores de cavitação hidrodinâmica geralmente são divididos em duas categorias: Os reatores não-rotacionais, como os de placa de orifício e tubos de Venturi, e os reatores rotacionais onde a cavitação é gerada em uma região varrida por impulsores de alta velocidade (SUN *et al.*, 2018).

Nos reatores não-rotacionais adapta-se um tubo de Venturi ou uma placa de orifício na linha de recalque, com o objetivo de provocar a queda de pressão na linha, que cairá abaixo da pressão de vapor do líquido a dada temperatura, ocasionando o fenômeno da cavitação. A pressão de entrada e de saída totalmente recuperada são medidas através de manômetros ou transdutores de pressão. A linha principal deve também possuir válvulas de controle, a fim de se ajustar a descarga da bomba. A Figura 1 ilustra uma representação de um reator de cavitação hidrodinâmica não-rotacional, utilizando tubo de Venturi.

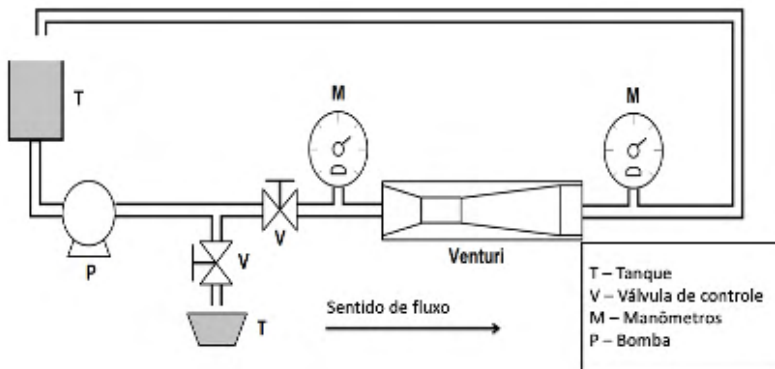


Figura 1 – Reator de cavitação hidrodinâmica com tubo de Venturi.

Fonte: Os autores.

Sun *et al.* (2018) demonstram que os reatores não rotacionais têm configurações experimentais simples que podem produzir o fenômeno da cavitação, entretanto, afirmam também que esses reatores possuem limitações físicas inerentes que afetam a intensidade da cavitação e a eficiência térmica do processo, elevando o tempo de processamento para dezenas de minutos, o que pode torná-lo impraticável para uso em aplicações industriais de larga escala. É importante ressaltar que a eficiência de um reator depende das características hidrodinâmicas do meio, ou seja, das propriedades de transporte da mistura, da transferência de calor e massa do sistema e da cinética-química do meio reacional (BADVE *et al.*, 2015). Por este motivo, muitas pesquisas envolvendo reatores de cavitação hidrodinâmica não-rotacionais utilizando tubos de Venturi e placas de orifício tem sido conduzidas para as mais diversas aplicações.

A extensão da cavitação ocorrendo em um sistema é explicada em termos do número de cavitação σ_c , derivado do teorema de Bernoulli e expresso pela equação (1) (SHRIKANT; KHAMBETE, 2017):

$$\sigma_c = \frac{P_2 - P_v}{0,5\rho v^2} \quad (1)$$

Em que: σ_c é o número de cavitação [adimensional]; P_2 - é a pressão a jusante do tubo de Venturi em [Pa]; P_v - é a pressão de vapor da água em [Pa], ρ - é a massa específica do líquido [kg/m^3] e v - é a velocidade na garganta onde a cavitação ocorre em [m/s]. Números de cavitação menores ou iguais a 1 indicam a ocorrência do fenômeno, ou seja, que a pressão a jusante caiu até a pressão de vapor da água (ASHRAFIZADEH; GHASSEMI, 2015).

Porém, pode-se observar que o número de cavitação não leva em consideração a dinâmica de fluidos local. Portanto, o número de cavitação não é um parâmetro adequado

para comparar a eficácia geométrica dos dispositivos de cavitação (DASTANE *et al.*, 2019). Um parâmetro denominado *Cavitational Efficacy Ratio* (CER) pode ser utilizado para corrigir esse problema. O CER é definido pela equação (2):

$$CER = \frac{P_{\text{colapso}}}{P_1 - P_2} \quad (2)$$

Onde: P_{colapso} é a pressão gerada após o colapso da cavidade (Pa), P_1 é a pressão de entrada (Pa) e P_2 é a pressão de saída após o dispositivo de cavitação (Pa).

Essencialmente o CER é a eficácia teórica máxima do sistema de cavitação, onde a pressão de colapso representa a quantidade máxima de energia que pode ser liberada por uma cavidade em um determinado campo de escoamento e o denominador a perda permanente de pressão (energia dissipada) durante o processo.

A pressão de colapso pode ser determinada pela correlação empírica proposta por GOGATE e PANDIT (2000), que é de fácil utilização e válida em toda a gama de parâmetros que comumente são utilizadas nas aplicações de cavitação hidrodinâmica (tamanho de cavidade inicial de 0,01 a 0,1mm, pressão de entrada de 1 a 8 atm, diâmetro do orifício de 1 a 10mm e porcentagem de área livre dos furos de 1 a 20%). A correlação final desenvolvida para a cavitação hidrodinâmica é indicada pela equação (3):

$$P_{\text{colapso}} = 7527 \cdot (A)^{-2,55} \{ (P_i)^{2,46} (r_0)^{-0,80} (d_0)^{2,37} \}. \quad (3)$$

Onde: P_{colapso} é a pressão de colapso das bolhas (atm), A é a porcentagem de área livre dos furos (%), P_i é a pressão de entrada (atm), r_0 é o raio inicial das cavidades (mm) e d_0 é o diâmetro do dispositivo de cavitação utilizado (mm).

A correlação anterior é apenas uma indicação da magnitude da pressão de colapso no reator de cavitação hidrodinâmica. Outro parâmetro importante a ser considerado no projeto de reatores de cavitação hidrodinâmica é o rendimento cavitacional, desenvolvido por GOGATE e PANDIT (2000) e expresso pela equação (4):

$$\text{Rendimento cavitacional} = K \cdot (P_{\text{colapso}})^w \quad (4)$$

Onde: a constante K e o expoente w dependem da geometria do reator, de parâmetros operacionais e do tipo de reação que está sendo realizada.

Segundo Li *et al.* (2019) os tubos Venturi superam as placas de orifício em aplicações de desinfecção com excelentes desempenhos nos aglomerados de bactérias, gerando uma cavitação mais densa com um maior número de bolhas de vapor formadas. Além disso, as vazões em tubos de Venturi são maiores que em placas de orifício para a mesma entrada de energia, levando a uma maior capacidade de tratamento e maior eficiência energética, apesar do custo mais elevado de fabricação.

Para Kuldeep e Virendra (2016) a pressão se recupera suavemente em tubos de Venturi devido ao ângulo de divergência, deixando as cavidades de vapor com tempo

suficiente para crescer até o tamanho máximo, aumentando a intensidade do colapso e o rendimento da cavitação, o que não ocorre em placas de orifício. Para Simpson e Ranade (2018) a intensidade cavitacional em tubos de Venturi depende do colapso da cavidade de vapor formada, que é controlado pelas condições de operação do processo como número de cavitação e pressão de entrada, sua geometria - ângulos de divergência/convergência, diâmetro e comprimento da garganta.

4 | VISÃO GERAL DA APLICAÇÃO DA CAVITAÇÃO HIDRODINÂMICA PARA O PRÉ-TRATAMENTO DE BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

Os primeiros estudos sobre a cavitação hidrodinâmica aplicada ao pré-tratamento de biomassa lignocelulósica datam de 2015 e foram conduzidos por Kim *et al.* (2015). Neste estudo a cavitação hidrodinâmica foi empregada como um meio físico para potencializar o pré-tratamento alcalino de cana para a produção de etanol. Foram avaliadas a influência da concentração de NaOH, da razão sólido-líquido e do tempo de reação no rendimento em glicose. O dispositivo de cavitação utilizado foi a placa de orifício com 27 furos de 1 mm de diâmetro. O volume reacional utilizado foi de 150mL, com pressão de entrada igual a 500kPa a temperatura de operação igual a 77 As condições ótimas de pré-tratamento foram determinadas em 3% NaOH, 11,8% carga de sólido e tempo reacional de 41,1 minutos, com remoção de lignina de 35 a 42% e rendimento máximo em glicose de 326,5 g/kg de biomassa após 72h de hidrólise enzimática. A cavitação hidrodinâmica como pré-tratamento de biomassa também se mostrou vantajosa do ponto de vista energético, com um consumo de energia de 3,65 MJ/kg de biomassa, valor significativamente menor quando comparado com a cavitação ultrassônica com consumo de 14,4 MJ/kg de biomassa realizado em condições semelhantes.

Hiláres *et al.* (2016) também empregaram a cavitação hidrodinâmica para otimizar o pré-tratamento alcalino de bagaço de cana-de-açúcar em um estudo similar. Em condições otimizadas (0,48M NaOH, 4,27% s/l e 44,48minutos) relataram 52,1% de glucan, 60,4% de remoção de lignina e 97,2% de digestibilidade enzimática após 48h de hidrólise. Além disso a hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar pré-tratado apresentou um rendimento 82% maior em relação a hidrólise do bagaço sem pré-tratamento e 30% maior do que o bagaço pré-tratado apenas com álcali.

Madison *et al.* (2017) submeteram o bagaço de cana-de-açúcar bruto e tratado com cal a cavitação hidrodinâmica utilizando tubo de Venturi com 0,714 cm de diâmetro de garganta. Os melhores resultados foram obtidos com o tratamento por cavitação seguido do tratamento com cal aumentando a digestibilidade enzimática em 46% quando comparada ao pré-tratamento apenas com cal.

Em outro estudo, Hiláres *et al.* (2017b) avaliaram a eficiência da cavitação hidrodinâmica utilizando a metodologia de superfície de resposta variando parâmetros

como a pressão de entrada (1-3bar), temperatura (40- 70) e a concentração de NaOH (0,1 – 0,3M). Em condições otimizadas (3bar, 70 e 0,3M NaOH) foram obtidos, respectivamente, 93,05% e 94,45% de rendimento de hidrólise de celulose e hemicelulose em 30 minutos de pré-tratamento.

Bimestre *et al.* (2020) utilizaram a modelagem fluidodinâmica computacional para avaliar a influência da pressão de entrada, do diâmetro e comprimento de garganta de um tubo de Venturi para cavitação hidrodinâmica. A partir dos resultados computacionais, o pré-tratamento alcalino do bagaço de cana-de-açúcar assistido por cavitação hidrodinâmica foi conduzido. Em condições otimizadas (4,90% NaOH, 2,03% s/l e 58,33 minutos) obtiveram máxima remoção de lignina de 56,01%.

5 I FATORES INFLUENCIADORES NA INTENSIDADE DE CAVITAÇÃO HIDRODINÂMICA NO PRÉ-TRATAMENTO DE BIOMASSA LIGNOCELULÓSICA

Na concepção e projeto de um reator de cavitação hidrodinâmica com tubo de Venturi é imprescindível a identificação de parâmetros vitais do processo e a compreensão da influência desses parâmetros nos mecanismos físicos e químicos envolvidos. Para Shrikant e Khambete (2017) os principais parâmetros influenciadores em um reator de cavitação hidrodinâmica podem ser classificados em três grupos: (a) características estruturais do reator, em especial a geometria; (b) características do meio líquido: viscosidade, massa específica, calor específico etc.; (c) características do processo tecnológico: tempo, temperatura, pressão etc.

Ghassemi e Fasih (2011) estudaram o desempenho de tubos de Venturi sob diferentes pressões a montante e a jusante. Seus resultados mostraram que, para razões de pressão a jusante / a montante inferiores a 0,8, a vazão mássica é constante e independente da pressão a jusante.

Ashrafizadeh e Ghassemi (2015) conduziram experimentos de cavitação em tubos de Venturi com diferentes valores de pressão a jusante fixando a pressão a montante em 20bar. Através de seus resultados pode-se verificar que diminuindo a pressão a jusante a região de cavitação torna-se maior. A pressão de entrada é também um parâmetro importante, pois as cavidades de vapor desenvolvidas dependem dela. Um aumento na pressão de entrada tende a reduzir o número de cavitação devido ao aumento na velocidade e na vazão de líquido, intensificando o fenômeno da cavitação.

Gogate e Patil (2015) estudaram os efeitos da pressão de entrada em reatores de cavitação e concluíram que o número de cavitação decresceu de 0,76 para 0,29 com o aumento da pressão de entrada de 1 bar para 5 bar, confirmando o aumento na intensidade da cavitação hidrodinâmica. Entretanto, afirmam que pressões muito elevadas na entrada podem ocasionar o fenômeno da supercavitação, que é a formação de uma nuvem de cavidades de vapor, cujo colapso é amortecido significativamente, levando a

uma diminuição da efetividade cavitacional. De modo geral, sugerem valores de pressão de entrada na faixa de 4 a 6 bar para configurações com tubo de Venturi e placas de orifício.

Devido a complexidade do escoamento e a instrumentação necessária para a caracterização experimental do fluxo, aliada as complexas geometrias e baixas escalas de tempo, a dinâmica dos fluidos computacional pode ser uma importante ferramenta no projeto de reatores de cavitação (BIMESTRE et al., 2020) (HILÁRES et al., 2020).

6 | PERSPECTIVAS FUTURAS

Investigações futuras para a cavitação hidrodinâmica devem ser conduzidas com o peróxido de hidrogênio e o ozônio além das reações de Fenton (*Fenton reaction and Fenton-like reaction*) liberando radicais hidroxila (OH) e peridroxila (HOO) oxidando e degradando as estruturas recalcitrantes da biomassa lignocelulósica facilitando o acesso das enzimas a celulose e potencializando a hidrólise enzimática (LIU et al., 2020).

7 | CONCLUSÕES

Esta revisão resumiu a importância e o potencial da cavitação hidrodinâmica como uma alternativa aos métodos convencionais de pré-tratamento de biomassa lignocelulósica. A configuração do reator e do dispositivo cavitante tem fundamental importância no processo, bem como as condições operacionais como temperatura, pressão de entrada, número de cavitação e tamanho de partícula, tornando o processo economicamente viável no contexto de biorefinaria. A cavitação hidrodinâmica se mostrou uma excelente alternativa de processamento em larga escala, ecologicamente amigável, eficiente energeticamente e pode ser utilizada em conjunto com outras formas de pré-tratamento. Investigações futuras devem se concentrar em projetos de reatores de alto desempenho e baixo custo.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAM, A. et al. **Pretreatment strategies for enhanced biogas production from lignocellulosic biomass.** *Bioresource Technology*, [S.L.], v. 301, p. 122-130, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122725>.
- APG II, Angiosperm Phylogeny Group II. **An update of the angiosperm phylogeny group classification for the orders and families of flowering plants:** APG II. *Botanical journal of the linnean society, London*, v. 141, n. 4, p.399-436, abr. 2003. Oxford university press (OUP). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1046/j.1095-8339.2003.t01-1-00158.x>.
- ASHRAFIZADEH, S. M.; GHASSEMI, H. **Experimental and numerical investigation on the performance of small-sized cavitating venturis.** *Flow measurement and instrumentation, Guilford*, v. 42, p.6-15, abr. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2014.12.007>.
- ASSAD, L. **Aproveitamento de resíduos do setor sucroalcooleiro desafia empresas e pesquisadores.** *Ciência e cultura, São Paulo*, v. 69, n. 4, p.13-16, out. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602017000400005>.

BADVE, M. P. *et al.* **Hydrodynamic cavitation as a novel approach for delignification of wheat straw for paper manufacturing.** *Ultrasonics sonochemistry*, Oxford, v. 21, n. 1, p.162-168, jan. 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2013.07.006>.

BADVE, M. P. *et al.* **Modeling the shear rate and pressure drop in a hydrodynamic cavitation reactor with experimental validation based on KI decomposition studies.** *Ultrasonics sonochemistry*, Oxford, v. 22, p.272-277, jan. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.05.017>.

BHOWMICK, G.; SARMAH, A. K.; SEN, R. **Lignocellulosic biorefinery as a model for sustainable development of biofuels and value added products.** *Bioresource technology*, Essex, v. 247, p.1144-1154, jan. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.163>.

BIMESTRE, T.A. *et al.* **Theoretical modeling and experimental validation of hydrodynamic cavitation reactor with a Venturi tube for sugarcane bagasse pretreatment.** *Bioresource Technology*, [S.L.], v. 311, p. 123-134, set. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123540>.

BRASIL, Centro de estudos avançados em economia Aplicada. **PIB de cadeias agropecuárias.** São Paulo: CEPEA, 2017. 235p. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-de-cadeias-agropecuarias.aspx>.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balço Energético Nacional 2018-2019.** Brasília: MME, 2019. 263p. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>.

CARVALHO, S. A. D.; FURTADO, A. T. **O melhoramento genético de cana-de-açúcar no Brasil e o desafio das mudanças climáticas globais.** *Revista gestão & conexões*, Vitória, v. 2, n. 1, p.22-46, 23 set. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.13071/regec.2317-5087.2013.2.1.4909.22-46>.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Cana-de-açúcar: safra 2018/2019: terceiro levantamento**, dez. de 2018. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>.

DASTANE, G. G *et al.* **Single and multiphase CFD simulations for designing cavitating venturi.** *Chemical Engineering Research And Design*, [S.L.], v. 149, p. 1-12, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cherd.2019.06.036>.

GHASSEMI, H.; FASIH, H. F. **Application of small size cavitating venturi as flow controller and flow meter.** *Flow measurement and instrumentation*, Guilford, v. 22, n. 5, p.406-412, out. 2011. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.flowmeasinst.2011.05.001>.

GOGATE, P.R., PANDIT, A. B. **Hydrodynamic cavitation reactors: a state-of-the-art review.** *Rev Chem Eng.* 2001;17:1–85.

GOGATE, P. R.; PATIL, P. N. **Combined treatment technology based on synergism between hydrodynamic cavitation and advanced oxidation processes.** *Ultrasonics sonochemistry*, Oxford, v. 25, p.60-69, jul. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.08.016>.

HALDAR, Dibyajyoti; PURKAIT, Mihir Kumar. **A review on the environment-friendly emerging techniques for pretreatment of lignocellulosic biomass: mechanistic insight and advancements.** *Chemosphere*, [S.L.], v. 264, p. 128-139, fev. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128523>.

HASSAN, S. S.; WILLIAMS, G. A.; JAISWAL, A. K. **Emerging technologies for the pretreatment of lignocellulosic biomass.** *Bioresource Technology*, Essex, v. 262, p.310-318, ago. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2018.04.099>.

HILARES, R. T. *et al.* **Hydrodynamic cavitation-assisted alkaline pretreatment as a new approach for sugarcane bagasse biorefineries.** *Bioresource technology*, Essex, v. 214, p.609-614, ago. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.05.004>.

HILARES^a, R. T. *et al.* **Ethanol production in a simultaneous saccharification and fermentation process with interconnected reactors employing hydrodynamic cavitation-pretreated sugarcane bagasse as raw material.** *Bioresource technology*, Essex, v. 243, p.652-659, nov. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.159>.

HILARES^b, R. T. *et al.* **Hydrodynamic cavitation as a strategy to enhance the efficiency of lignocellulosic biomass pretreatment.** *Critical reviews in biotechnology*, Boca Raton, v. 38, n. 4, p.483-493, 12 dez. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1080/07388551.2017.1369932>.

HILARES, R. T. *et al.* **Hydrodynamic cavitation-assisted continuous pre-treatment of sugarcane bagasse for ethanol production: effects of geometric parameters of the cavitation device.** *Ultrasonics Sonochemistry*, [S.L.], v. 63, p. 104-116, maio 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.104931>.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **A geografia da cana-de-açúcar: dinâmica territorial da produção agropecuária.** Rio de Janeiro: IBGE, 2017. 170 p. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/apps/dinamica_agropecuaria..

KIM, I. *et al.* **Hydrodynamic cavitation as a novel pretreatment approach for bioethanol production from reed.** *Bioresource technology*, Essex, v. 192, p.335-339, set. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2015.05.038>.

KULDEEP S., VIRENDRA, K. **Computational study of different venturi and orifice type hydrodynamic cavitating devices.** *Journal of hydrodynamics*, London, v. 28, n. 2, p.293-305, abr. 2016. Disponível em: [http://dx.doi.org/10.1016/s1001-6058\(16\)60631-5](http://dx.doi.org/10.1016/s1001-6058(16)60631-5).

KUMARI, D.; SINGH, R. **Pretreatment of lignocellulosic wastes for biofuel production: a critical review.** *Renewable and sustainable energy reviews*, Oxford, v. 90, p.877-891, jul. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.111>.

LI, M. *et al.* **Study of Venturi tube geometry on the hydrodynamic cavitation for the generation of microbubbles.** *Minerals engineering*, Oxford, v. 132, p.268-274, mar. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2018.11.001>.

LIU, W. *et al.* **Improving enzymatic hydrolysis of mechanically refined poplar branches with assistance of hydrothermal and Fenton pretreatment.** *Bioresource Technology*, [S.L.], v. 316, p. 123920, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123920>.

MADISON, M. J. *et al.* **Mechanical pretreatment of biomass – part I: Acoustic and hydrodynamic cavitation.** *Biomass and bioenergy*, Oxford, v. 98, p.135-141, mar. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2017.01.007>.

MEROUANI, S. *et al.* **Experimental and numerical investigation of the effect of liquid temperature on the sonolytic degradation of some organic dyes in water.** *Ultrasonics sonochemistry*, Oxford, v. 28, p.382-392, jan. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.08.015>.

MOORE, P. H.; PATERSON, A. H.; TEW, T. **Sugarcane: the crop, the plant, and domestication.** *Sugarcane: Physiology, Biochemistry, and Functional Biology*, Lauderdale p.1-17, 13 dez. 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/9781118771280.ch1>.

NAKASHIMA, K. *et al.* **Hydrodynamic cavitation reactor for efficient pretreatment of lignocellulosic biomass.** *Industrial & engineering chemistry research*, Washington, v. 55, n. 7, p.1866-1871, 15 fev. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.iecr.5b04375>.

PATIL, P. N. *et al.* **Intensification of biogas production using pretreatment based on hydrodynamic cavitation.** *Ultrasonics sonochemistry*, Oxford, v. 30, p.79-86, mai. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.11.009>.

PONNUSAMY, V. K. *et al.* **A review on lignin structure, pretreatments, fermentation reactions and biorefinery potential.** *Bioresource technology*, Essex, v. 271, p.462-472, jan. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.070>.

RAI, R. *et al.* **Enhanced hydrolysis of lignocellulosic biomass with doping of a highly thermostable recombinant laccase.** *International Journal Of Biological Macromolecules*, [S.L.], v. 137, p. 232-237, set. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.221>.

REN, X. *et al.* **Comparison of hydrodynamic and ultrasonic cavitation effects on soy protein isolate functionality.** *Journal of food engineering*, Essex, v. 265, p.109-119, jan. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109697>.

SARSAIYA, S. *et al.* **Microbial dynamics for lignocellulosic waste bioconversion and its importance with modern circular economy, challenges and future perspectives.** *Bioresource technology*, Essex, v. 291, p.121-134, nov. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121905>.

SHRIKANT, B. R.; KHAMBETE, A. K. **Hydrodynamic cavitation: a novel treatment approach.** *Materials today*, Kidlington, v. 4, n. 9, p.9680-9684, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2017.06.246>.

SIMPSON, A.; RANADE, V. V. **Modeling hydrodynamic cavitation in Venturi: influence of Venturi configuration on inception and extent of cavitation.** *Aiche journal*, New York, v. 65, n. 1, p.421-433, 5 out. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1002/aic.16411>.

SUN, X. *et al.* **An experimental study on the thermal performance of a novel hydrodynamic cavitation reactor.** *Experimental thermal and fluid science*, New York, v. 99, p.200-210, dez. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2018.02.034>.

THANEKAR, P.; GOGATE, P. R. **Combined hydrodynamic cavitation based processes as an efficient treatment option for real industrial effluent.** *Ultrasonics sonochemistry*, Oxford, p.1-12, jan. 2019. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2019.01.007>.

POTENCIAL INSETICIDA DAS SEMENTES COMO ALTERNATIVA AO CONTROLE SUSTENTÁVEL DO *Aedes aegypti* L. (DIPTERA: CULICIDAE)

Data de aceite: 20/08/2021

Data de submissão: 27/07/2021

Francisco Bernardo de Barros

Universidade Federal do Cariri, Centro de Ciências Agrárias e da Biodiversidade
Crato-CE
<https://orcid.org/0000-0001-8093-9920>

Francisco Roberto de Azevedo

Universidade Federal do Cariri, Centro de Ciências Agrárias e da Biodiversidade
Crato-CE
<https://orcid.org/0000-0002-6953-6175>

RESUMO: O *Aedes aegypti* é responsável pela disseminação das principais arbovíruses em circulação no Brasil. No entanto, seu controle tem sido um desafio. Este artigo discute sobre as medidas de combate à proliferação desse mosquito no país, os desafios enfrentados e as alternativas sustentáveis de combate ao mesmo, tendo por objetivo apontar os principais mecanismos que tornam as sementes e seus constituintes, potenciais bioinseticidas. É visto que, impedir a oviposição do mosquito, mediante a eliminação dos criadouros, deveria ser a medida mais efetiva de controle do vetor, no entanto, as campanhas promovidas pelos órgãos governamentais responsáveis têm fracassado no país devido a não adesão popular, justificando o uso de inseticidas sintéticos para

esta finalidade, que sofrem com o crescente surgimento de indivíduos resistentes, além de apresentarem toxicidade para os ecossistemas e os seres humanos. Na busca por alternativas mais sustentáveis, podem-se destacar os inseticidas de origem vegetal, que apresentam baixa toxicidade. Nesse contexto, as sementes se destacam pelas vantagens do seu uso contra o *A. aegypti*, com a literatura recente revelando vários estudos com resultados positivos, pois as mesmas são fontes de metabólitos secundários, lectinas, moléculas inibidoras e óleos essenciais, que já são conhecidos pelas suas propriedades inseticidas. Dessa forma, é fundamental que mais pesquisas sejam realizadas no intuito de melhor estudar as qualidades inseticidas das sementes e buscar compostos menos tóxicos e vantajosos para serem empregados no controle desse vetor.

PALAVRAS-CHAVE: Arbovíruses; Bioinseticidas; Inseto vetor; Moléculas bioativas.

INSECTICIDE POTENTIAL OF SEEDS AS AN ALTERNATIVE TO THE SUSTAINABLE CONTROL OF *Aedes aegypti* L. (DIPTERA: CULICIDAE)

ABSTRACT: *Aedes aegypti* is responsible for the dissemination of the main arboviruses circulating in Brazil. However, its control has been a challenge. This article discusses measures to combat the proliferation of this mosquito in the country, the challenges faced and sustainable alternatives to combat it, aiming to point out the main mechanisms that turn seeds and their constituents into potential biopesticides. It is seen that preventing mosquito oviposition through the elimination of breeding sites should be the most

effective measure of vector control, however, the campaigns promoted by the responsible government agencies have failed in the country, due to the non-adherence of the people, justifying the use of synthetic insecticides for this purpose, which suffer from the growing emergence of resistant individuals, in addition to presenting toxicity to ecosystems and humans. In the search for more sustainable alternatives, insecticides of plant origin can be highlighted, which have low toxicity. In this context, seeds stand out for the advantages of their use against *A. aegypti*, with recent literature revealing several studies with positive results, as they are sources of secondary metabolites, lectins, inhibitor molecules and essential oils, which are already known for their insecticidal properties. Thus, it is essential that more research is carried out in order to better study the insecticidal qualities of seeds and seek less toxic and advantageous compounds to be used in the control of this vector.

KEYWORDS: Arboviruses; Biopesticides; Vector insect; Bioactive Molecules.

1 | INTRODUÇÃO

Pertencentes à ordem Diptera, uma das mais abrangentes em espécies, amplamente distribuídas em todos os continentes, os mosquitos costumam apresentar importância médica pelo fato de que algumas espécies são vetores de doenças que podem ser transmitidas para humanos e animais, durante a hematofagia (CHAGAS, 2016).

O *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) é o vetor de importantes doenças virais que acometem o ser humano (arboviroses), sendo elas: dengue, febre amarela, Zika e Chikungunya. O controle destas doenças demanda recursos públicos para combater o vetor e tratar os acometidos, sendo que no Brasil, somente em 2019, estimam-se em cerca de R\$ 2 bilhões os gastos voltados para o combate destas arboviroses (PINHEIRO *et al.*, 2020).

Impedir a formação de criadouros para o vetor, não permitindo assim, que ocorra a oviposição e o desenvolvimento das larvas é a mais simples ação de combate ao *A. aegypti* e que pode ser adotada por toda sociedade, porém estas medidas não apresentam os resultados esperados em decorrência da baixa adesão da população brasileira (NASCIMENTO, 2014). Como consequência, os inseticidas sintéticos vêm sendo utilizados para essa finalidade, mas possuem uso limitado em decorrência de sua elevada toxicidade para mamíferos e para o meio ambiente, como é exemplo dos inseticidas derivados de compostos organofosforados e piretróides que são amplamente utilizados no controle do *A. aegypti* (POSSEL, 2019).

Outra desvantagem da utilização dos inseticidas sintéticos diz respeito ao crescente surgimento de organismos resistentes a estes produtos, devido ao uso prolongado, com concentrações cada vez maiores dos mesmos (AFFELDT *et al.*, 2016; POSSEL, 2019; SILVA *et al.*, 2019a). Sendo assim, é importante buscar alternativas de combate ao *A. aegypti* mais vantajosas, sustentáveis e de baixa toxicidade para animais e ecossistemas (AFFELDT *et al.*, 2016).

Neste contexto, vários estudos vêm demonstrando o potencial inseticida das plantas

contra o *A. aegypti*, pois as mesmas são fontes de inúmeras moléculas que atuam na defesa destes vegetais contra pragas e predadores (CHAGAS, 2016). Dentre estas moléculas, destacam-se os metabólitos secundários (TEIXEIRA *et al.*, 2014), as lectinas (FREITAS *et al.*, 2011) e as moléculas inibidoras (CHAGAS, 2016).

As sementes são constituintes vegetais ricos em moléculas bioativas, a exemplo das supracitadas e por esta razão tem despertado o interesse de pesquisadores no intuito de testar seus extratos contra o *A. aegypti*, com vários estudos apresentando resultados promissores (BARBOSA *et al.*, 2014; COELHO *et al.*, 2017; DIAS *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2019b).

Em vista do potencial das sementes contra esse vetor, é importante compreender os mecanismos envolvidos e como elas podem ser utilizadas no combate ao mosquito. Assim sendo, este capítulo aborda sobre a ecologia do *A. aegypti*, as formas de combate e o papel das sementes nesse sentido.

A pesquisa documental e bibliográfica foi adotada como procedimento metodológico, tendo como fonte de informações documentos oficiais, artigos, dissertações e teses, tal qual sustenta os autores (SOARES, 2009; SANTAELLA, 2014). Optou-se por uma análise descritiva e crítica acerca dos achados durante a pesquisa bibliográfica. É, portanto, um estudo de abordagem qualitativa, pois reúne informações atuais e analisa de forma crítica os achados, tornando possível compreender a relevância das sementes no combate ao *A. aegypti*.

2 | BIOECOLOGIA DO *A. aegypti*

O mosquito *A. aegypti*, juntamente com o *Aedes albopictus* (Skuse.EDFV) ocupam posição de destaque dentro do gênero *Aedes*, que apresenta centenas de espécies cosmopolitas (CHAGAS, 2016). As fêmeas destas duas espécies são vetores da dengue, sendo que a primeira também transmite a febre amarela no Brasil (SILVA *et al.*, 2008). O *A. albopictus* por sua vez, é considerado vetor secundário (CATÃO, 2012), pois não apresenta características domiciliares a exemplo do *A. aegypti* (SILVA *et al.*, 2008).

O *A. aegypti* é predominante em regiões tropicais e subtropicais, sendo uma espécie oriunda do continente africano (BARRETO; TEIXEIRA, 2008), tendo sua introdução nas américas ainda no período da colonização por meio das embarcações que chegavam desse continente (AFFELDT *et al.*, 2016; SILVA, 2019b). No Brasil, a introdução do mosquito *A. aegypti* aconteceu, provavelmente, através dos navios negreiros que chegavam do continente africano (SILVA *et al.*, 2008), no entanto, os primeiros relatos de dengue no país surgem entre o final do século XIX e início do século XX, em Curitiba/PR e Niterói/RJ respectivamente, época em que a febre amarela era a doença transmitida pelo *A. aegypti* que mais preocupava (RIZZI *et al.*, 2017).

Apesar do longo tempo de prevalência do mosquito no país e das sucessivas

epidemias de dengue e febre amarela, foi apenas em 1955, após luta nacional para erradicação do mosquito que o Brasil conseguiu alcançar este objetivo (SILVA *et al.*, 2008), com novas epidemias sendo registradas a partir de 1986 no Rio de Janeiro e algumas capitais do Nordeste, devido a reintrodução do mosquito no país entre 1981 e 1982 (RIZZI *et al.*, 2017).

O mosquito *A. aegypti* mede cerca de um (01) centímetro, possui cor preta com listras brancas no corpo e nas pernas, sua picada não dói e nem coça, com o adulto vivendo em média 45 dias, tendo o hábito de picar no começo das manhãs e a tarde (SILVA *et al.*, 2008). São artrópodes integrante da ordem Diptera e da família Culicidae e tal qual outros integrantes dessa família, pode transmitir agentes patogênicos para os humanos, através da hematofagia realizada pelas fêmeas destes mosquitos (CHAGAS, 2016). A hematofagia constitui uma ingestão protéica necessária para que os ovos sejam formados (BRASIL, 2001) e é por meio da ingestão de sangue humano (hematofagia) que a fêmea pode ingerir o agente etiológico de algumas arboviroses (SILVA *et al.*, 2008) mas, semelhante aos machos deste mosquito, as fêmeas também se alimentam de seiva, no entanto, devido forte adaptação do mosquito ao convívio humano, o mesmo se tornou antropofílico, com forte predileção pelo sangue humano (BARRETO; TEIXEIRA, 2008; CATÃO, 2012).

A adaptação do *A. aegypti* aos ambientes urbanos resultou na preferência pela postura dos ovos em criadouros artificiais como latas, vidros, vasos, caixas d'água e pneus (CATÃO, 2012). A fêmea põe ovos de 4 a 6 vezes ao longo de sua vida, sendo em média 100 ovos em cada postura (CATÃO, 2012), sendo que a temperatura tem forte papel no número de ovos em cada postura (CALADO; SILVA, 2002).

O desenvolvimento dos mosquitos acontece através de metamorfose completa, com o ciclo de vida do *A. aegypti* compreendendo quatro fases: ovo, larva (quatro estádios larvais), pupa e adulto (BRASIL, 2001).

Os ovos do *A. aegypti* são pequenos, medem cerca de 1 mm de comprimento e apresentam contorno alongado e fusiforme, as fêmeas os depositam nas paredes internas dos criadouros, entre 1 e 5 mm da superfície da água, sendo que inicialmente são brancos, mas em pouco tempo adquirem a cor negra brilhante (BRASIL, 2001). Em condições adequadas de umidade e temperatura, após 48 horas o desenvolvimento do embrião estará completo, com o ovo adquirindo forte resistência aos fatores ambientais e a dissecação, resistindo por cerca de 450 dias até eclodir as larvas em condições de umidade adequadas (BRASIL, 2001; CATÃO, 2012).

A fase larval do *A. aegypti* é um período de crescimento e alimentação, principalmente de matéria orgânica presente na parede e no fundo do reservatório (BRASIL, 2001). O corpo da larva é dividido em tórax, cabeça e abdome (SILVA, 2008), sendo que seu desenvolvimento apresenta 4 fases: L1, L2, L3 e L4 (CHAGAS, 2016). Esta fase dura no máximo 5 dias (CATÃO, 2012), quando se inicia o estágio de pupa, etapa em que o *A. aegypti* não se alimenta e permanece emersa na água. É a fase em que ocorre a

metamorfose para o estágio adulto, durando de 2 a 3 dias (COSTA, 2001; CATÃO, 2012).

O mosquito adulto vive de 30 a 35 dias e após emergir da água, decorrentes 24 horas já pode acasalar, com uma única inseminação do cruzamento com um macho sendo o suficiente para fecundar todos os ovos da fêmea durante todo o seu período de vida (CATÃO, 2012), no entanto, antes de cada postura é necessário que ocorra o repasto sanguíneo, com um intervalo de 3 dias entre a hematofagia e a postura dos ovos. Como nem sempre a fêmea adquire sangue suficiente de uma única pessoa, a mesma costuma picar mais de um hospedeiro, aumentando as chances de disseminação de vírus para humanos (BRASIL, 2001).

3 | AS ATUAIS ESTRATÉGIAS DE CONTROLE DO MOSQUITO

Apesar dos avanços nos tratamentos contra as arboviroses, ainda não existem vacinas que previnam a dengue, a chikungunya e a zika, sendo que apenas para a febre amarela se tem uma vacina, dessa forma, o controle do mosquito vetor tem sido a primeira medida adotada com a finalidade de prevenir estas doenças (CHAGAS, 2016). Trata-se de impedir que a reprodução do vetor aconteça, por meio da eliminação dos criadouros. Para isso, estratégias como o uso de inseticidas, armadilhas, insetos estéreis, mosquiteiros, feromônios ou leis, vêm sendo implementadas (WERMELINGER; FERREIRA, 2013), além do incentivo a população da adoção de medidas de controle mecânico, tais como: o uso de telas em portas e janelas e, a proteção individual (uso de repelentes e roupas protetoras) (ZARA *et al.*, 2016).

Ações educativas também vêm sendo desenvolvidas ao longo dos anos no Brasil, objetivando tornar a população aliada no combate ao *A. aegypti*, no entanto, Alecrim *et al.* (2016) destaca que apenas levar conhecimento sobre os cuidados com o vetor não produz uma mudança significativa no comportamento das pessoas, sendo necessária uma reformulação das ações educativas, para tornar estas medidas mais efetivas (NETO *et al.*, 2019), pois a adesão popular para estas medidas é considerada baixa. Isto força as estratégias de manejo ambiental e a utilização de produtos biológicos e químicos no Brasil, as principais medidas voltadas para a eliminação do mosquito (LIMA *et al.*, 2021).

Um bom exemplo de manejo ambiental vem sendo realizado por meio de técnicas de análise da distribuição espacial do inseto vetor, visando seu monitoramento e controle. Estas estratégias vêm se popularizando nos últimos anos, como é o caso das armadilhas de captura (ovitrampas e larvitrampas), que auxiliam no combate destas arboviroses ao retirar do ambiente o inseto vetor em diferentes estágios de desenvolvimentos (SILVA, 2009; CHAGAS, 2016).

Atualmente, os larvicidas e adulticidas da classe dos organofosforados e piretróides constituem os produtos químicos mais utilizados no combate ao *A. aegypti* (GOMES *et al.*, 2016), sendo o temefós, o malathion e o fenitrothion (organofosforados) os principais

compostos empregados no controle do vetor no Brasil (SILVA *et al.*, 2017). Porém, é cada vez mais frequente o surgimento de populações resistentes a estas substâncias (GOMES *et al.*, 2016), e os danos ambientais, uma vez que estes produtos podem afetar fauna e flora de uma região e, à longo prazo, os seres humanos (SANTOS, 2019), como é o exemplo do malathion, que consta em uma lista de agroquímicos com evidências de atividade cancerígena (BARROS *et al.*, 2021). Por esta razão, os piretróides (cipermetrina e deltametrina) vêm gradativamente substituindo os organofosforados por apresentarem maior eficiência contra insetos adultos e demandar baixas concentrações (ZARA *et al.*, 2016).

Ainda sobre o uso de inseticidas contra o *A. aegypti*, experimentos promissores utilizando mosquitos dispersores de inseticidas têm apresentado bons resultados. A técnica consiste em atrair as fêmeas do vetor até recipientes tratados com o regulador de crescimento piriproxifeno, cujas partículas grudam nas mesmas e caem na água dos criadouros no momento da oviposição, provocando a mortalidade das larvas (ZARA *et al.*, 2016).

Contra riscos e desvantagens dos inseticidas sintéticos no combate ao *A. aegypti*, o controle biológico pode ser uma alternativa viável, como é o exemplo do uso dos esporos letais da bactéria *Bacillus thuringiensis israelensis* (BTI - Sumitomo Corporation®), um método alternativo a estes produtos contra as larvas do vetor, que vem ganhando espaço no Brasil, pois se trata de um inseticida biológico seletivo para a ordem Diptera (CARVALHO *et al.*, 2020). No entanto, Zara *et al.*, (2016) destaca que não há evidências suficientes de que esse método isolado possa impactar na mortalidade do vetor em longo prazo, o que torna este produto mais bem aproveitado quando utilizado em sinergia. Esta proposta foi testada no estudo realizado por Carvalho *et al.*, (2020), onde foi verificada a mortalidade das larvas do *A. aegypti* pelo uso do BTI em associação com a predação das mesmas pelas larvas de libélulas (Ordem Odonata) e os resultados foram promissores.

Outras opções de controle biológico incluem ainda o uso da bactéria simbiote de insetos *Wolbachia* (ZARA *et al.*, 2016) e o uso de peixes larvófagos, mas essa alternativa apresenta limitações, como a necessidade de o criadouro de larvas precisar ser um tanque de grandes proporções (NETO *et al.*, 2019).

Considerando os argumentos supracitados, pode-se considerar que é preciso que cada situação seja analisada com cuidado durante a escolha da melhor medida de controle do *A. aegypti* e que é fundamental a busca por novas alternativas viáveis no combate do inseto vetor.

4 | O POTENCIAL DAS SEMENTES NO COMBATE AO VETOR

Apesar de serem pouco estudadas, quando comparadas a outros constituintes vegetais, tais como, folhas e frutos, as sementes são ricas em moléculas e são fonte de

metabólitos secundários, com diversos estudos demonstrando o potencial das mesmas no controle do *A. aegypti* (BARBOSA *et al.*, 2014). Além disso, as sementes apresentam mais vantagens de serem estudadas do que outros constituintes vegetais pela facilidade de acesso às mesmas, fácil obtenção, manuseio e rendimento, podendo ser processadas de forma simples e econômica (CHAGAS, 2016).

No que diz respeito à atividade inseticida das sementes, vários pesquisadores têm testado extratos, óleos essenciais e moléculas de origem vegetal contra o *A. aegypti* e os resultados são promissores. Em estudo realizado por Farias *et al.*, (2010) os extratos aquosos de quinze sementes de plantas leguminosas tiveram sua ação inseticida testada contra o *A. aegypti* e todas elas demonstraram ação larvicida, sendo que os extratos de *Amburana cearensis* (All.) A.C. Smith., *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan., *Dioclea megacarpa* Rolfe., *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong e *Piptadenia moniliformis* Benth. mataram 100% das larvas após 3 horas de exposição. Resultados semelhantes foram obtidos no estudo feito por Barbosa *et al.*, (2014) em que vinte extratos de sementes demonstraram ação contra o *A. aegypti*. Mais recentemente, Chagas (2016) analisou a atividade dos extratos salinos das sementes de *Prosopis juliflora* DC., *Adenanthera pavonina* L., *Clitoria fairchildiana* Howard., *Delonix regia* Bojer., *Canavalia ensiformis* DC. e *Leucaena leucocephala* (Lam) Wit, contra todos os estádios do *A. aegypti*, sendo confirmadas as ações ovicida, larvicida e pupicida.

Para Gomes *et al.*, (2016) a evolução das plantas foi o segredo para sua efetividade contra insetos, por precisarem desenvolver mecanismos de defesa contra o ataque de potenciais herbívoros como é o caso dos insetos. Entre estes mecanismos de defesa, os inibidores moleculares se destacam. São proteínas/enzimas presentes nestes organismos e que desempenham funções variadas na estrutura das plantas, atuando tanto na resposta contra os fatores abióticos, como na defesa contra insetos-praga (CHAGAS, 2016).

Os intestinos dos insetos apresentam alvos moleculares para os inibidores presentes no organismo dos vegetais, pois nele se encontra a matriz peritrófica, uma membrana que separa o conteúdo do lúmen do intestino, das células digestivas de revestimento do intestino médio e, possui na sua constituição várias substâncias que são alvos dos inibidores (AMORIM, 2007).

Dentre estes inibidores pode-se destacar as quitinases, moléculas presentes em uma série de organismos, a exemplo das plantas e que têm sido testadas no combate ao *A. aegypti* pelo fato destas enzimas serem capazes de clivar a quitina, um polissacarídeo estrutural abundante no exoesqueleto dos insetos (DUKARIYA; KUMAR, 2020). Esta molécula tem papel importante na integridade e permeabilidade da matriz peritrófica (LEHANE, 1997), logo, proteínas que se ligam à quitina possuem o potencial de alterar propriedades físicas da mesma, causando a morte dos insetos.

A atividade sinérgica entre as quitinases e outros compostos também têm sido estudada, pois acredita-se que elas potencializam a ação inseticida ao provocar fissuras no

exoesqueleto dos insetos, permitindo uma melhor difusão do inseticida (RAMÍREZ-SUERO *et al.*, 2019).

Tripsina e quimotripsina são inibidores de proteases e são também as enzimas digestivas mais abundantes em larvas de *A. aegypti* e como os inibidores de proteases tem o poder de se ligar e inibir a atividade digestiva dos insetos, estas moléculas tornam-se importantes aliadas no combate destes vetores (SASAKI *et al.*, 2015). Neste contexto, plantas que apresentam inibidores destas enzimas digestivas é uma opção no combate ao *A. aegypti*, como é o caso da *Adenantha pavonina* Linn., uma vez que foi demonstrado que as sementes desta planta apresentam tais inibidores e os extratos das mesmas apresentaram potencial tóxico contra o *A. aegypti* (SASAKI *et al.*, 2015).

No trabalho realizado por Dias *et al.*, (2017), o inibidor de tripsina CLTI obtido das sementes de *Cassia leiandra* Benth, apresentaram atividade larvicida contra *A. aegypti* por inibir proteases. Já no estudo realizado por Chagas (2016), todas as sementes apresentaram: lectinas, proteínas ligantes à quitina e inibidores de enzimas digestivas (tripsina e quimotripsina), o que justifica os resultados positivos. No trabalho realizado por Farias *et al.*, (2010) foram detectados inibidores de tripsina e lectinas nas sementes estudadas, evidenciando a importância de moléculas ativas na ação contra o mosquito.

As lectinas são proteínas abundantes nos vegetais e possuem ação inseticida contra o *A. aegypti* (COELHO *et al.*, 2017; SILVA *et al.*, 2019b; CAVALCANTI *et al.*, 2021). As sementes de *Moringa oleífera* Lam, são provavelmente as mais bem estudadas no combate ao *A. aegypti*, pois são ricas em lectinas e diversos trabalhos atestaram excelentes resultados dos extratos das sementes desta planta contra o *A. aegypti*, o que a torna forte candidata para ser usada como inseticida natural (Silva *et al.*, 2019a).

Sementes, além de serem ricas em proteínas e enzimas bioativas, também são fonte de metabólitos secundários, componentes que costumam estar presentes em baixas concentrações em determinados grupos de plantas, possuem estrutura complexa e baixo peso molecular, mas são conhecidos por suas atividades biológicas marcantes (BERG *et al.*, 2017). Para estas substâncias já foram atestadas atividades larvicida, ovicida, pupicida, adulticida, repelente e inibidora de crescimento (GOYAL *et al.*, 2019).

Além da comprovação da atividade larvicida contra o *A. aegypti*, metabólitos secundários foram encontrados nos extratos aquosos das sementes estudadas por Farias *et al.*, (2010), sendo detectados: taninos, fenóis, flavonas, flavonóides, xantonas, saponinas e alcalóides. Flavonóides, triterpenos e alcalóides foram encontrados nos extratos das sementes estudadas por Barbosa *et al.*, (2014), ocasião em que se obteve resultados positivos para a atividade larvicida contra o *A. aegypti*.

Os óleos essenciais são compostos orgânicos ricos em metabólitos secundários. As sementes são abundantes fontes desses óleos e vários trabalhos que avaliaram a ação dos mesmos frente ao *A. aegypti* apresentaram resultados positivos, como foi o caso dos estudos conduzidos por Nascimento *et al.*, (2013) e Bilal *et al.* (2017), em que foi verificada

a mortalidade das larvas do vetor no terceiro instar.

Em decorrência dos excelentes resultados verificados nos estudos citados, Farias *et al.*, (2010) alerta para a importância de se estudar melhor as sementes na perspectiva de prospectar novos compostos viáveis contra o *A. aegypti*, pois como os autores destacam, a maior parte das pesquisas utilizando vegetais no combate a este inseto são focadas no estudo das folhas, caules e raízes das plantas e como fica evidenciado nos trabalhos supracitados, as mesmas possuem muito potencial, porém ainda pouco explorado.

5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista que o *A. aegypti* é o inseto vetor das principais arboviroses brasileiras e seu controle é considerado difícil, em decorrência de fatores sociais e das limitações dos inseticidas convencionais, pode-se considerar que é urgente a implementação de medidas mais efetivas contra o vetor por parte dos órgãos governamentais responsáveis, sendo que elas devem ser sustentáveis, econômicas e de baixo impacto negativo nos organismos e no meio ambiente. Os resultados expostos nesta pesquisa apontam os extratos e moléculas das sementes como uma alternativa que atende a estes requisitos.

É necessário buscar alternativas que viabilizem o uso dos inseticidas de origem vegetal no combate ao mosquito vetor, e para isso, é importante que mais pesquisas sejam desenvolvidas com a finalidade de buscar os biocompostos mais efetivos e que possuam baixas toxicidade ambiental e para mamíferos.

REFERÊNCIAS

AFFELDT, P. E. S.; MACIEL, L. T. R.; BOZO, L. S. O.; ALVES, A. P. S. M.; COELHO, F. A. M.; AKISUE, G.; COELHO, M. D.G. Avaliação da atividade inseticida de látex e extratos vegetais frente culicídeos. **Revista Biociências**, v. 22, n. 1, p. 61-67, 2016.

ALECRIM, J. S.; COTTA.; A.; CASTRO.; J. M. Relação entre as Ações de Prevenção da Dengue e o Impacto Causado sobre os Casos Notificados no Município de Ipatinga entre os anos de 2009 e 2010. **Journal of Health Sciences**, v. 18, n. 4, p. 286-90, 2016.

AMORIM, T. M. L. **Avaliação da ação bioinseticida de SBTI e vicilina de *Erythrina velutina* em enzimas digestivas e membrana peritricária de larvas de *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae)**. 83p. Dissertação (Mestrado em Bioquímica e Biologia Molecular) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2007.

BARBOSA, P. B. B. M.; OLIVEIRA, J. M.; CHAGAS, J. M.; RABELO, L. M. A.; MEDEIROS, G. F.; GIODANI, R. B.; SILVA, E. A.; UCHÔA, A. F.; XIMENES, M. F. F. M. Evaluation of seeds from plants found in the caatinga biofilm for the control *Aedes aegypti*. **Parasitology Research**, v. 113, n. 10, p. 3565-3580, 2014.

BARRETO, M. L.; TEIXEIRA, M. G. Dengue no Brasil: situação epidemiológica e contribuições para uma agenda de pesquisa. **Estudos avançados**, v. 22, n. 64, p. 53-72, 2008.

BARROS, F. B.; LEANDRO, C. S.; SANTOS, J. R. P.; AZEVEDO, F. R.; CÂNDIDO, E. L. Agrotóxicos comercializados no Brasil com potencial carcinogênico para humanos. **Saúde (Santa Maria)**, v. 47, n. 1, p. e6392, 2021.

BERG, J. M.; STRYER, L.; TYMOCZKO, J. L. **Bioquímica**. 7° ed., Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 386p, 2017.

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional da Saúde. **Dengue instruções para pessoal de combate ao vetor: manual de normas técnicas**. 03. Ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2001, 75p.

_____. Ministério da Saúde. **Ministério da Saúde confirma relação entre vírus Zika e microcefalia**. Brasília, 2015. Disponível em: Disponível em: <http://portalsaude.saude.gov.br/index.php/cidadao/principal/agencia-saude/21014-ministerio-da-saude-confirma-relacao-entre-virus-zika-e-microcefalia>. Acesso em: 12 maio de 2021.

_____. Ministério da Saúde. Monitoramento dos casos de arboviroses urbanas transmitidas pelo **Aedes aegypti** (dengue, chikungunya e zika), Semanas epidemiológicas 1 a 53, 2020. Brasília, DF: **Boletim epidemiológico** (52). Ministério da Saúde, 2021. Disponível em: https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/media/pdf/2021/fevereiro/01/boletim_epidemiologico_svs_3.pdf. Acesso em: 03 de fev. de 2021.

BILAL, H.; AKRAM, W.; HASSAN, S. A.; DIN, S. (2017). Citrus seed oils efficacy against larvae of *Aedes aegypti*. **Journal of arthropod-borne diseases**, v. 11, n. 3, p. 427-440, 2017.

CALADO, D. C.; SILVA, M. A. N. Influência da temperatura sobre a longevidade, fecundidade e atividade hematofágica de *Aedes (Stegomyia) albopictus* Skuse, 1894 (Diptera, Culicidae) sob condições de laboratório. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 46, n. 1, p. 93-98, 2002.

CARVALHO, G.; COZZER, G. D.; REZENDE, R. S.; DAL MAGRO, J.; SIMÕES, D. A. Efeito sinérgico do BTI e predação sobre a mortalidade de larvas do mosquito *Aedes aegypti* (LINNAEUS, 1762). **Revista Acta Ambiental Catarinense**, v. 17, n. 1, p. 10-16, 2020.

CATÃO, R. C. **Dengue no Brasil: abordagem geográfica na escala nacional**, 01. Ed, São Paulo: Cultura Acadêmica, 2012.

CAVALCANTI, V. L. R.; COSTA, R. M. P. B.; PONTUAL, E. V.; ANDRADE, A. F.; ALVES, L. C.; PORTO, A. L. F.; BEZERRA, R. P. *Chlorella vulgaris* lectin kills *Aedes aegypti* larvae. **Algal Research**, v. 56, n. 1, p. 102290. 2021.

CHAGAS, J. M. **Avaliação do potencial inseticida de extratos salinos de sementes de seis espécies de plantas (família Fabaceae) contra Aedes (Stegomyia) aegypti (Diptera)**. 2016. Dissertação. (Mestrado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRGN. Natal - RN.

COELHO, L. C. B. B.; SILVA, P. M. D. S.; LIMA, V. L. D. M.; PONTUAL, E. V.; PAIVA, P. M. G.; NAPOLEÃO, T. H.; CORREIA, M. T. D. S. Lectins, interconnecting proteins with biotechnological/ pharmacological and therapeutic applications. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2017, n. 01, p. 22, 2017.

COSTA, M. A. R. **A Ocorrência do *Aedes aegypti* na Região Noroeste do Paraná: um estudo sobre a epidemia da dengue em Paranavaí – 1999, na perspectiva da Geografia Médica.** 2001. 214p. Dissertação (Mestrado Institucional em Geografia). Universidade Estadual Paulista - Faculdade Estadual de Educação Ciências e Letras de Paranavaí, Presidente Prudente.

DIAS, L. P.; OLIVEIRA, J. T.; BEZERRA, L. C. R.; SOUSA, D. O.; COSTA, H. P.; ARAUJO, N. M. S.; CARVALHO, A. F. U.; TABOSA, P. M. S.; LOPES, J. L. S.; BELTRAMINI, L. M.; VASCONCELOS, I. M. A trypsin inhibitor purified from *Cassia leiandra* seeds has insecticidal activity against *Aedes aegypti*. **Process Biochemistry**, v. 57, n. 6, p. 228-238, 2017.

DUKARIYA, G.; KUMAR, A. Distribution and biotechnological applications of chitinase: A review. **International J Biochem Biophys**, v. 8, n. 1, p. 17-29, 2020.

FARIAS, D. F.; CAVALHEIRO, M. G.; VIANA, M. P.; QUEIROZ, V. A.; ROCHA-BEZERRA, L. C. B.; VASCONCELOS, I. M.; MORAIS, S. M.; CARVALHO, A. F. U. Water extracts of Brazilian leguminous seeds as rich sources of larvicidal compounds against *Aedes aegypti* L. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 82, n. 3, p. 585-594, 2010.

FREITAS, C. D. T.; RAMOS, M. V.; SOUZA, D. P.; FILHO, J. D. B. M.; TEIXEIRA, F. M.; OLIVEIRA, J. S. Correlações entre atividade inseticida e resistência à proteólise de duas lectinas vegetais glicose/manose. **Comunicata Scientiae**, v. 21, n. 1, p. 34-41. 2011.

GOYAL, M.; SHINDE, L.; BAYAS, R. Study of chemical composition and larvicidal efficacy of secondary metabolites from aromatic phytoextracts against dengue vector: *Aedes aegypti* (Linn)(Diptera: Culicidae). **International Journal of Mosquito Research**, v. 6, n. 1, p. 26-33, 2019.

GOMES, P. R. B.; SILVA, A. L. S.; PINHEIRO, H. A.; CARVALHO, L. L.; LIMA, H. S.; SILVA, E. F.; SILVA, R. P.; LOUZEIRO, C. H.; OLIVEIRA, M. B.; FILHO, V. E. M. Evaluation of the larvicidal effect of the essential oil of *Zingiber officinale* Roscoe (ginger) against the mosquito *Aedes aegypti*. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 18, n. 2, p. 597-604, 2016.

LEHANE, M. J. Peritrophic matrix structure and function. **Annual review of entomology**, v. 42, n. 1, p. 525-550, 1997.

LIMA, E. O.; RODRIGUES, F. A. C.; BUTAKKA, C. M.; MIYAZAKI, R. D.; CERQUEIRA, L. L. M.; MARIOTTO, S. Avaliação do polimorfismo na enzima esterase em populações naturais de *Aedes aegypti* em Chapada de Guimarães, Mato Grosso. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 18539-18552, 2021.

NASCIMENTO, J. C. D.; DAVID, J. M.; BARBOSA, L. C.; DE PAULA, V. F.; DEMUNER, A. J.; DAVID, J. P.; CONSERVA, L. M.; JUNIOR, J. C. F.; GUIMARÃES, E. F. Larvicidal activities and chemical composition of essential oils from *Piper klotzschianum* (Kunth) C. DC.(Piperaceae). **Pest management science**, v. 69, n. 11, p. 1267-1271, 2013.

NASCIMENTO, A. M. D. **Atividade repelente e larvicida de *Xylopiia laevigata*, *X. frutescens* (Annonaceae) e *Lippia penduculosa* (Verbenaceae) sobre *Aedes aegypti*.** 64p. (Dissertação de Mestrado em Biologia Parasitária) - Universidade Federal de Sergipe, 2014.

NETO, T. S. C.; RAMIREZ, M. T. P.; GALINDO, V. R.; HERCULANO, L. F. S.; CAMPELLO, M. V. M. Levantamento de potenciais criadouros de *Aedes aegypti* no Campus do Itaperi da Universidade Estadual do Ceará. **Revista da Medicina Veterinária (UFRPE)**, v. 13, n. 1, p. 43-48, 2019.

PINHEIRO, T. F.; ALVES, J. B.; SILVA, Y. R. N. O impacto financeiro das arboviroses oriundas do *Aedes Aegypti* no Brasil: uma projeção para 2019. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 30757-30767, 2020.

POSSEL, R. D. **Atividade inseticida e repelente de plantas do cerrado no controle alternativo do mosquito *Aedes Aegypti***. 113p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, 2019.

RAMÍREZ-SUERO, M.; VALERIO-ALFARO, V.; BERNAL, J. S.; RAMÍREZ-LEPE, M. Synergistic effect of chitinases and *Bacillus thuringiensis* israelensis spore-toxin complex against *Aedes aegypti* larvae. **The Canadian Entomologist**, v. 143, n. 2, p. 157-164, 2011.

RIZZI, C. B.; RIZZI, R. L.; PRAMIU, P. V.; HOFFMANN, E.; CODEÇO, C. T. Considerações sobre a dengue e variáveis de importância à infestação por *aedes aegypti*. **Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 13, n. 24, p. 24 - 40, 2017.

SANTAELLA, L. Gêneros discursivos híbridos na era da hipermídia. Bakhtiniana. **Revista de Estudos do Discurso**, v. 9, n. 2, p. 206-216, 2014.

SANTOS, S. C.; PAZ, M. L. C.; LIMA, M. O. A. Prospecção tecnológica sobre métodos de controle do mosquito *Aedes aegypti*. **Cadernos de Prospecção**, v. 12, n. 1, p. 105-112, 2019.

SASAKI, D. Y.; JACOBOWSKI, A. C.; SOUZA, A. P.; CARDOSO, M. H.; FRANCO, O. L.; MACEDO, M. L. R. Effects of proteinase inhibitor from *Adenantha pavonina* seeds on short-and long term larval development of *Aedes aegypti*. **Biochimie**, v. 112, n. 05, p. 172-186, 2015.

SILVA, J. S.; MARIANO, Z. F.; SCOPEL, I. A dengue no Brasil e as políticas de combate ao *Aedes aegypti*: da tentativa de erradicação às políticas de controle. **Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 4, n. 6, p. 163-175, 2008.

SILVA, L. L. S.; FERNANDES, K. M.; MIRANDA, F. R.; SILVA, S. C. C.; COELHO, L. C. B. B.; NAVARRO, D. M. A. F.; NAPOLEÃO, T. H.; MARTINS, G. F.; PAIVA, P. M. G. Exposure of mosquito (*Aedes aegypti*) larvae to the water extract and lectin-rich fraction of *Moringa oleifera* seeds impairs their development and future fecundity. **Ecotoxicology and environmental safety**, v. 183, n. 01, p. 109583, 2019a.

SILVA, R. V. **Análise fitoquímica e atividade inseticida de *Annona montana* sobre *Aedes aegypti***. 87p. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Piauí - UFPI, 2019b.

SILVA, T. I.; ALVES, A. C. L.; DE AZEVEDO, F. R.; MARCO, C. A.; SANTOS, H. R.; ALVES, W. S. Efeito larvicida de óleos essenciais de plantas medicinais sobre larvas de *Aedes aegypti* L. (Diptera: Culicidae). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 2, p. 256-260, 2017.

SILVA, V. C.; FREIRE, N. M. S.; SILVA, J. S.; SCHERER, P. O. Estudo comparativo entre larvitrapas e ovitrapas para avaliação da presença de *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) em Campo Grande, Estado do Rio de Janeiro. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 42, n. 6, p. 730-731, 2009.

SOARES, M. **Letramento: um tema em três gêneros**. Belo Horizonte: Autêntica Editora, 2009. 128 p.

TEIXEIRA, A. H.; BEZERRA, M. M.; CHAVES, H. V.; VAL, D. R.; FILHO, S. M. P.; SILVA, A. A. R. Conhecimento popular sobre o uso de plantas medicinais no município de Sobral-Ceará, Brasil. **SANARE**. v. 13, n. 1, p. 23-28, 2014.

WERMELINGER, E. D.; FERREIRA, A. P. Métodos de controle de insetos vetores: um estudo das classificações. **Revista Pan-Amazônica de Saúde**, v. 4, n. 3, p. 1-6, 2013.

ZARA, A. L. D. S. A.; SANTOS, S. M. D.; FERNANDES-OLIVEIRA, E. S.; CARVALHO, R. G.; COELHO, G. E. Estratégias de controle do *Aedes aegypti*: uma revisão. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 25, n. 2, p. 391-404, 2016.

DESENVOLVIMENTO DE OFICINAS PARA CONFEÇÃO DE PRODUTOS SUSTENTÁVEIS UTILIZANDO LONA DE *BANNER* DURANTE A PANDEMIA DA COVID-19

Data de aceite: 20/08/2021

Data de submissão: 05/07/2021

Marilda Colares Jardelina dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Sergipe
Aracaju – Sergipe
<http://lattes.cnpq.br/6839119419861242>

Sheilla Costa dos Santos

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Sergipe
Aracaju – Sergipe
<http://lattes.cnpq.br/0881068478581046>

José Sérgio Filgueiras Costa

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Sergipe
Tobias Barreto – Sergipe
<http://lattes.cnpq.br/2653816754813540>

Carlos Gomes da Silva Júnior

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Sergipe
Aracaju – Sergipe
<http://lattes.cnpq.br/7860322544460441>

Luiz Felipe Bispo Viana

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Sergipe
Aracaju – Sergipe
<http://lattes.cnpq.br/3033136695767955>

RESUMO: A poluição, a destruição de *habitats*, o acúmulo de resíduos sólidos e a diminuição rápida da biodiversidade são apenas alguns dos

exemplos dos problemas ambientais gerados pela ação do homem na atualidade. Por isso, ações sustentáveis devem ser tomadas para reverter esta situação. Esta pesquisa teve como objetivo integrar o corpo acadêmico do Instituto Federal de Sergipe e o público externo em um único projeto, defendendo a ideia de instituir uma oficina de reutilização de lonas de *banner* para ensinar a confecção de produtos sustentáveis, e com isso, iniciar um movimento de reutilização deste material. Também, pretende-se contribuir com a geração de renda para comunidades em situação de vulnerabilidade social e econômica. Contando com a doação de materiais de empresas de publicidade e com a participação da população, foram realizadas oficinas (presenciais e *on-line*) para ensinar a confeccionar produtos sustentáveis de um modo simples. As oficinas ocorreram antes e durante a pandemia da COVID-19. Como resultado, foram reaproveitados aproximadamente 148 kg de lonas de *banner* que seriam destinados ao aterro sanitário.

PALAVRAS-CHAVE: Design, Reaproveitamento, Desenvolvimento Sustentável, Meio Ambiente, Pandemia.

DEVELOPMENT OF WORKSHOPS FOR MAKING SUSTAINABLE PRODUCTS USING BANNER CANVAS DURING THE COVID-19 PANDEMIC

ABSTRACT: Pollution, habitat destruction, accumulation of solid waste and rapid decline in biodiversity are just some examples of environmental problems generated by human action today. Therefore, sustainable actions must be taken to reverse this situation. This research

aimed to integrate the academic body of the Federal Institute of Sergipe and the external public in a single project, defending the idea of setting up a workshop to reuse banner canvas to teach how to make sustainable products, and thus initiate a movement to reuse this material. Also, it is intended to contribute to generation of income for communities in situations of social and economic vulnerability. With the donation of materials by advertising companies and with participation of the population, workshops were held (in person and online), to teach how to make sustainable products in a simple way. The workshops took place before and during the COVID-19 pandemic. As a result, approximately 148 kg of banner canvas that would be destined for the landfill site were reused.

KEYWORDS: Design, Reuse, Sustainable Development, Environment, Pandemic.

1 | INTRODUÇÃO

São cada vez mais evidentes os impactos negativos que o homem provoca na natureza. A poluição, a destruição de *habitats*, o acúmulo de resíduos sólidos e a rápida diminuição da biodiversidade são apenas alguns dos exemplos dos problemas ambientais gerados pela ação do homem. Por isso, ações sustentáveis precisam ser tomadas para reverter esta situação.

Neste sentido, foi criado o projeto “Reutiliza Banner”, iniciando um movimento de reutilização das lonas de *banners*, que antes eram descartadas inadequadamente no meio ambiente. A necessidade partiu da larga utilização de *banners*, tanto no meio acadêmico quanto no meio publicitário. Tais lonas são derivadas de compostos petroquímicos, gerando:

[...] resíduos que não se apresentam como inflamáveis, corrosivos, tóxicos, patogênicos, e nem possuem tendência a sofrer uma reação química. Contudo, não se pode dizer que esses resíduos classe II A não trazem perigos aos seres humanos ou ao meio ambiente (VGRESÍDUOS, 2017).

Também chamados de pôsteres ou painéis, as lonas são feitas de uma fibra sintética conhecida como cloreto de polivinila (PVC) que, quando descartada de maneira inadequada, faz parte do grupo de resíduos sólidos poluentes. De acordo com Martinussi (2011):

Em geral, os *banners* são produzidos a partir de lonas de policloreto de vinila (PVC) e apresentam um elevado tempo de decomposição, sendo assim um agravante são de difícil reciclagem, rotineiramente, são enviados aos aterros sanitários sem nenhuma separação ou reaproveitamento. (MARTINUSSI 2011 apud CARDOSO et al, 2016, p. 3).

Ao analisar o ciclo de vida desse material, confirmou-se que seu descarte inadequado gera um impacto muito grande à natureza, tendo em vista que leva “[...] em média 500 anos para decompor na natureza, enquanto sua utilização costuma perdurar poucos dias ou semanas” (CARDOSO et al., 2016, p. 2), tornando-se obsoleto após o uso. Por isso:

[...] atividades sustentáveis se tornam essenciais para reverter essa situação, afinal, são capazes de reaproveitar matérias-primas, reutilizar materiais, e proporcionar ambientes de vida melhores (MENEGUCCI et al., 2015).

Para consolidar tais atividades que promovem o desenvolvimento sustentável, são necessários planejamento e participação de todas as esferas públicas, bem como da população.

No caso dos *banners*, visto que após o uso não tinham outro destino a não ser o lixo, por falta de uma política de reutilização na região, havia a necessidade de encontrar alternativas sustentáveis para reduzir o descarte inadequado desse material (CARDOSO et al, 2016).

Visando contribuir para este fim, o projeto de extensão “Reutiliza Banner” teve por objetivo integrar o corpo acadêmico do Instituto Federal de Sergipe e o público externo, promovendo oficinas de reutilização de lonas de *banner* (presencial e *on-line*), para ensinar a confeccionar produtos sustentáveis e reduzir o descarte inadequado das lonas de banner na natureza.

A seguir, serão apresentados os materiais e métodos utilizados, bem como a discussão dos resultados obtidos.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A lona de banner é um material versátil, com diversas alternativas de uso. Assim, inicialmente, procurou-se pesquisar as possibilidades de reutilização do material, bem como as condições e os equipamentos necessários à fabricação de produtos tais como bolsas, carteiras, caixas etc.

Segundo Jung et al. (2015), as lonas possuem diversas gramaturas e podem ser construídas em material opaco ou não. Além disso, também pode haver variações em sua flexibilidade. Um aspecto a levar em conta na reutilização é que as lonas que já passaram pela etapa da impressão não podem passar pelo mesmo processo em seu verso.

A primeira etapa, que ocorreu nos primeiros meses de 2020, envolveu a fabricação e costura de produtos de teste: aventais, capas, estojos etc. Após definir o primeiro lote de produtos a serem produzidos, o próximo passo foi conscientizar as pessoas a respeito da questão ambiental e motivá-las a doar lonas de *banner* (Figura 1) por meio de campanhas publicitárias.

Além disso, os produtos acabados foram levados a empresas de publicidade em Aracaju (SE), visando obter mais lonas. Depois de firmados os acordos de doação, os *banners* foram coletados para posterior desmontagem, separando lona, baguete e cordões.



Figura 1 - Caixa coletora colocada em frente à Caixa Econômica na entrada principal do IFS.

Fonte: Autores, 2019.

Na segunda etapa, foi realizada a “I Oficina de Reutilização da Lona de *Banners*” (I OFICIBAN), na área interna do estabelecimento ARTE ESTOFADOS, localizado na Rua Rafael de Aguiar, nº 735, Bairro Pereira Lobo, em Aracaju (SE), no dia 7 de março de 2020, das 8h às 12h.

Os participantes vieram tanto da comunidade interna do *campus* quanto de comunidades externas, e o IFS forneceu a eles todas as informações e materiais necessários para a criação dos produtos. As inscrições para as oficinas presencial e on-line foram feitas pelo Sistema de Publicação do IFS (SISPUBLI), através do endereço eletrônico publicacoes.ifs.edu.br.

Os participantes aprenderam a confeccionar diversos produtos sustentáveis utilizando materiais como lona, linha, viés, alça para a bolsa, régua, zíper e agulha. Por ser um material grosso, foram utilizadas para a costura duas máquinas industriais retas e uma máquina específica para couro.

Devido à pandemia da COVID-19, o desenvolvimento da pesquisa foi ajustado, sendo necessário planejar e organizar uma oficina on-line. Em junho de 2020, depois de algumas reuniões, foram elaborados vídeos e posteriormente a oficina on-line. Os vídeos foram gravados durante os encontros de alguns membros da equipe com a ministrante do curso em seu ateliê de costura, uma vez por semana.

Tanto na gravação antecipada de vídeos quanto durante a oficina on-line, os equipamentos utilizados foram: câmera filmadora, notebook, refletor de luz, microfone de lapela e um celular. Os vídeos foram publicados nas redes sociais do IFS e também nas plataformas Instagram e Youtube, nos canais criados pela equipe Reutiliza Banner.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tem-se discutido cada vez mais a respeito de medidas sustentáveis que combatam o consumo desenfreado de plástico, e propostas para o seu reuso são diariamente abordadas. Um dos derivados do plástico é a lona do banner, que tem uma longa durabilidade, o que é preocupante quando o material é descartado de forma indiscriminada no meio ambiente.

No entanto, a mesma característica pode se tornar uma vantagem quando o material é trabalhado de outra maneira, já que as propriedades de alta resistência e durabilidade podem render excelentes produtos oriundos da sua transformação por meio do reaproveitamento, a exemplo de estojos, bolsas, aventais, puxa-saco etc. (Figura 2).



Figura 2- Alguns produtos confeccionados nas oficinas presencial e online.

Fonte: Autores, 2019.

Ao planejar as oficinas de reutilização de lonas de *banner*, levou-se em conta a oportunidade de formar agentes em defesa da sustentabilidade. Com o apoio de uma empresa de estofados parceira do projeto, um grupo de 15 pessoas foram ensinadas a transformar lonas em produtos úteis, tais como estojos e carteiras, e incentivadas a continuar praticando em casa para aperfeiçoamento da produção, visando um possível espaço no mercado de trabalho e comércio local (Figura 3).



Figura 3 – Momento de tirar dúvidas dos participantes sobre detalhes da costura em lona.

Fonte: Autores, 2019.

O principal objetivo foi atingir as metas de desenvolvimento ambiental, com a reutilização de um plástico de grande durabilidade, e de desenvolvimento social, dando aos participantes a oportunidade de aprender novas habilidades que podem melhorar sua situação financeira. Dessa forma, a oficina colaborou com a geração de renda para famílias de baixa renda e também para indivíduos que desejassem aumentar sua renda familiar, obtendo esse conhecimento para posterior aplicação.

Em uma observação visual da I Oficina, grande parte dos participantes eram mulheres, com idades entre 40 e 60 anos, em sua maioria donas de casa. Ou seja, um novo mercado foi aberto para mulheres casadas, com filhos e sem emprego fixo, podendo trazer uma nova fonte de ganhos financeiros para famílias que sofrem com a crise do desemprego. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no primeiro trimestre de 2020, o Brasil já contava com mais de 12,6 milhões de desempregados.

No caso relatado por Jung et al (2015), a oficina desenvolvida no município de Santa Maria (RS) foi composta por usuárias, atuais e anteriores, da Associação de Apoio à Pessoa com Câncer (AAPECAN), uma Organização Não Governamental (ONG), sem fins lucrativos, que atende gratuitamente pessoas com diagnóstico de câncer, doando suplementos alimentares e medicamento (JUNG et al., 2015).

Em meados de março de 2020, a pandemia da COVID-19 já se alastrava pelo mundo, e após a realização da primeira oficina presencial, o vírus foi detectado no Brasil, o que passou a demandar todos os cuidados de distanciamento físico para evitar sua propagação. Adaptando-se à nova situação, foram definidas novas metodologias para dar continuidade ao projeto.

Com o apoio de uma nova parceira, do Atelier Dumonte, foram gravados 9 vídeos com aulas práticas, objetivando passar o conhecimento da reutilização da lona de *banner* de maneira simples para qualquer pessoa com acesso às plataformas do Youtube e

Instagram.

Os temas dos vídeos foram a confecção de capa para máquina de lavar, avental, capa para galão de água mineral, puxa-saco, jogo americano, bolsa de compras, bolsa de eventos, *nécessaire* e carteirinha de dois zíperes. Os vídeos postados atingiram 3.474 visualizações entre as contas das mídias sociais citadas acima, do IFS Campus Aracaju e do projeto Reutiliza Banner.

Após o sucesso dos vídeos, foi realizada a I Oficina Virtual de Reutilização de Lona de *Banner*. Seguindo os moldes da sua predecessora, essa oficina contou com uma ampla divulgação, inclusive em mídias de grande reconhecimento, como o Jornal da Manhã, da TV Sergipe, afiliada da Globo em Aracaju (SE).

A oficina virtual foi realizada em 12 de setembro de 2020, com a adesão de 45 pessoas, que acompanharam o processo de reutilização da lona de *banner*, sendo ensinados a confeccionar uma almofada de assento e um estojo. No final, algumas peças confeccionadas com a lona do *banner* foram sorteadas, totalizando 9 ganhadores .

Uma das dificuldades encontradas no desenvolvimento do projeto foi o manuseio da matéria-prima. Visto que não existe um padrão no que diz respeito à gramatura dos *banners*, alguns são difíceis de desdobrar e costurar, por serem muito grossos. Outro desafio foi o tipo de máquina de costura necessária, visto que as máquinas domésticas oferecem uma série de dificuldades e fragilidades para costurar alguns tipos de lonas e de detalhes.

Essas dificuldades também foram encontradas por Jung et al.(2015) e Dos Santos et al (2016). Porém, isso não impediu que os produtos escolhidos fossem desenvolvidos, apenas fortaleceu a determinação de que era necessário seguir em frente com o projeto, para reduzir o impacto ambiental que esse material causa quando descartado de forma inadequada na natureza. Como resultado, foram reaproveitados aproximadamente 148 kg de lonas de banner que de outra forma seriam destinados ao aterro sanitário.

4 | CONCLUSÕES

Conforme mencionado, a lona de *banner* tem na sua composição produtos petroquímicos, que podem gerar impactos negativos ao meio ambiente quando descartados de forma irregular. Entre as consequências do descarte não criterioso está o acúmulo desse material nos aterros sanitários, poluição dos rios e mares e contaminação do solo.

Diante da alta durabilidade do material, fica evidenciado que a lona de *banner* apresenta diversas possibilidades de reuso, permitindo a confecção de diversos produtos sustentáveis, desde toalha de mesa a bolsas.

Acredita-se que essa pesquisa tenha alcançado os objetivos esperados, deixando um grande exemplo para as novas gerações e também para as pessoas que se preocupam com o meio ambiente e que se utilizam da reciclagem e da minimização do uso de recursos

naturais.

O trabalho de fortalecimento do tripé da sustentabilidade, que envolve os aspectos sociais, econômicos e ambientais, foi de grande importância, pois proporcionou possibilidades de aumentar a renda das famílias, com a criação de um mercado de diversos produtos sustentáveis.

Portanto, que esse projeto venha a despertar novas pesquisas acerca da reutilização da lona de *banner*, visando assim, minimizar os impactos negativos que a sociedade de forma geral provoca ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS

CARDOSO, L. J. S; VALENTE, V. F; RODRIGUES, V. T.; PAVALK, A. RODRIGUES, M. N; **Alternativas sustentáveis para reutilização de banners em Universidade do Estado do Pará**. In: XXXVI Encontro nacional de engenharia de produção. João Pessoa/PB, 2016. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STP_236_374_30378.pdf. Acesso em: 07 mai. 2020.

DOS SANTOS, K. M. B et al. **Reutilização de Banners descartados para fabricação de bolsas**. 14º CONEX – Encontro Conversando sobre Extensão na UEPG. Ponta Grossa. 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Desemprego. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/desemprego.php>. Acesso: 21 mai. 2020.

JUNG, A. A., SALDANHA, M. V., GONÇALVES, J. A., TOCCHETTO, M. R. L.; Dic, C. Projeto RElona: Reaproveitamento de Lonas De Banner. In: 4º Fórum Internacional Ecoinnovar 2015. **Anais...** Disponível em: <https://docplayer.com.br/10364735-Projeto-relona-reaproveitamento-de-lonas-de-banner-relona-project-reuse-of-banner-canvas.html>. Acesso em 20 mai. 2020.

MENEGUCCI, F.; MARTELI, L.; CAMARGO, M.; VITO, M. Resíduos têxteis: Análise sobre descarte e reaproveitamento nas indústrias de confecção. In: XI Congresso Nacional de Excelência em Gestão. **Anais...** 2015. Disponível em: https://www.inovarse.org/sites/default/files/T_15_325.pdf. Acesso em: 07 mai. 2020.

VGRESÍDUOS. **Entenda a diferença entre resíduos inertes e não inertes**. 2017. Disponível em: <https://www.vgresiduos.com.br/blog/entenda-a-diferenca-entre-residuos-inertes-e-nao-inertes/>. Acesso em: 21 mai. 2020.

DESENVOLVIMENTO DE UM PROCESSO PRODUTIVO PARA A FABRICAÇÃO DE PLACAS TÁTEIS

Data de aceite: 20/08/2021

Data de submissão: 01/07/2021

Amanda da Mota Bernar

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia Sul-rio-grandense
Sapucaia do Sul – RS
<http://lattes.cnpq.br/5177289900513308>

Carmen Iara Walter Calcagno

Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia Sul-rio-grandense
Sapucaia do Sul – RS
<http://lattes.cnpq.br/0917832739193743>

Esta publicação inclui resultados do Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica. O manuscrito completo pode ser encontrado em: <http://biblioteca.ifsul.edu.br/>

RESUMO: Diversas normativas nacionais e internacionais são empregadas para possibilitar o uso dos espaços públicos, com segurança e autonomia, por pessoas com deficiência. Estudos anteriormente realizados no Instituto Federal Sul-rio-grandense, Campus Sapucaia do Sul constataram a falta de sinalizações táteis que atendam às regulamentações de acessibilidade em edificações, tornando complexo o uso destes ambientes por pessoas com deficiência visual. A partir disto, o objetivo deste desenvolvimento foi a definição de um processo produtivo para a fabricação de placas de sinalização tátil produzidas inteiramente com os recursos disponíveis na instituição. Para o cumprimento desta proposta, esta pesquisa foi dividida em duas

fases: Pré-desenvolvimento e Desenvolvimento, de acordo com as metodologias sugeridas para desenvolvimento de produtos. A primeira fase reuniu as necessidades do cliente e os requisitos do produto, tendo como resultado a proposta de uma placa de sinalização tátil adequada à Norma Regulamentadora (NBR 9050). A segunda fase foi responsável pelo estabelecimento de funções do produto e pela busca de soluções de engenharia enxuta, priorizando o planejamento minucioso do processo produtivo por meio do uso da Teoria de Solução de Problemas Inventivos (TRIZ). Ao final da fase de Desenvolvimento os resultados obtidos ao longo da pesquisa foram compilados e um processo produtivo detalhado pôde ser proposto (Projeto de Incorporação). O material utilizado, por concepção, neste projeto é uma mistura de amido de mandioca gelatinizado e aparas de papel (resíduos). A biodegradabilidade do todo e a reutilização de resíduos para um desenvolvimento de engenharia fornecem uma base sustentável ao projeto que se enquadra nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável apresentados pela Organização das Nações Unidas (ONU).

PALAVRAS - CHAVE: Sinalização tátil. Acessibilidade. Processos de fabricação. Desenvolvimento de produtos. Sustentabilidade.

DEVELOPMENT OF A MANUFACTURING PROCESS FOR TACTILE SIGNS PRODUCTION

ABSTRACT: Different national and international regulations are employed to allow the use of public spaces, with safety and autonomy,

by people with disabilities. Studies previously carried out at the Instituto Federal Sul-rio-grandense, Campus Sapucaia do Sul found a lack of tactile signs, which makes complex the use of these environments for visually impaired people. Based on this, the objective of the development is the definition of a production process for manufacturing tactile signs produced entirely with the resources available at IFSul. To fulfill this proposal, the research was divided into two phases: Pre-development and Development, according to the methodologies suggested for product development. The first phase gathered the customer's needs and the product requirements, having as a result the proposal of a tactile signaling plate suitable to the Regulatory Norm (NBR 9050). The second phase was responsible for the establishment of product functions and the search for lean engineering solutions, prioritizing the detailed planning of the production process using the Inventive Problem Solution Theory (TRIZ). At the end of the Development phase the results obtained throughout the research were compiled and a detailed production process could be proposed (Incorporation Project). The material used in this project is a mixture of gelatinized cassava starch and paper (waste). The biodegradability of the whole and the reuse of waste for an engineering development provide a sustainable basis for the project that fits with the Sustainable Development Goals presented by the United Nations (UN).

KEYWORDS: Tactile signs. Accessibility. Manufacturing processes. Product development. Sustainability.

1 | INTRODUÇÃO

Normativas brasileiras e internacionais determinam que as pessoas com deficiência devem ter a possibilidade e as condições para a utilização de todos os espaços públicos e privados, com segurança e autonomia. A acessibilidade sendo um direito regulamentado em lei, implica que todo e qualquer ambiente, no Brasil, deve estar de acordo com a Norma Técnica ABNT 9050, a qual determina as regras de dimensionamento para as sinalizações de acessibilidade nas edificações e espaços comuns (BRASIL, 2000). Pesquisas recentemente realizadas no IFSul, Campus Sapucaia do Sul, constataram lacunas que dificultam o acesso de deficientes visuais com completa autonomia no campus (SOUZA, 2019; RAUPP, 2019). Desta forma, o desenvolvimento de um processo produtivo para a fabricação de placas de sinalização tátil, dá continuidade a estes trabalhos, para que o IFSul possa estar de acordo com a Lei da Acessibilidade, N° 10.098 (BRASIL, 2000).

Esta pesquisa tem, como tema, o desenvolvimento de um processo de fabricação baseado em uma metodologia de desenvolvimento de produtos visando a obtenção de uma produção enxuta e com baixo custo de fabricação; conceitos base na formação de um Engenheiro Mecânico (HAIK e SHAHIN, 2011; IFSUL, 2010; ROZENFELD *et al.*, 2010).

Por concepção, a matéria-prima proposta pela própria instituição, é uma mistura de amido de mandioca e de resíduos de aparas de papel. O amido foi selecionado como a matéria-prima de base deste estudo por ser um material biodegradável proveniente de fontes renováveis tais como, milho, mandioca e batata. Além disso, o amido é um produto que está disponível na sua forma natural e em grande quantidade na natureza, possui baixo

custo de fabricação e aquisição e aceita a incorporação de fibras vegetais ou resíduos sólidos industriais, o que possibilita sua aplicação em produtos voltados a sustentabilidade (PORTO *et al.*, 2020). Estas características fundamentam este estudo no desenvolvimento ecologicamente sustentável, segundo os novos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente, o objetivo de consumo e produção responsáveis (ONU, 2020b).

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa tem como base prioritária, a metodologia de desenvolvimento de produtos (PDP) apresentada por Rozenfeld *et al.* (2010) e complementada por Haik e Shahin (2011), sendo dividido em duas partes: a fase de Pré-desenvolvimento e a fase de Desenvolvimento.

2.1 Pré-desenvolvimento

A fase de Pré-desenvolvimento descreveu as necessidades do cliente (Instituto Federal Sul-rio-grandense, Campus Sapucaia do Sul) e identificou os requisitos do produto, como sugerido por Haik e Shahin (2011). Isto foi feito a partir da análise dos resultados obtidos por Souza (2019) no seu Trabalho de Conclusão de Curso e da análise da norma NBR 9050 (BRASIL, 2000). A conclusão desta primeira fase implicou na proposição da geometria de uma placa de sinalização tátil, conforme definido pela Lei N° 10.098, respeitando as determinações da NBR 9050 (BRASIL, 2000).

2.2 Desenvolvimento

A segunda fase executada, foi responsável pelo estabelecimento de funções do produto e pela busca de soluções de engenharia enxuta, priorizando o planejamento de cada etapa do processo produtivo para evitar erros posteriores (MACHADO, 2006).

A fase de desenvolvimento englobou a definição dos problemas para atingir os objetivos, a identificação dos recursos e restrições tecnológicas do IFSul, a pesquisa de soluções, a determinação das estratégias de decisões e a análise das soluções. O fechamento da fase de Desenvolvimento se deu pela compilação dos resultados e proposição de um processo detalhado (Projeto de Incorporação) (HAIK; SHAHIN, 2011).

Antes de entrar propriamente no estudo de solução do problema, foi definida a estratégia metodológica a ser utilizada. Este processo foi feito por meio da análise das metodologias de resolução de problemas inventivos apresentadas por Rozenfeld *et al.* (2010) e por Demarque (2005). Ao final da análise, a estratégia que foi considerada adequada aos princípios fundamentais deste desenvolvimento é a TRIZ.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Pré-desenvolvimento

A fase de Pré-desenvolvimento teve como resultado a proposta de geometria de uma placa de sinalização para um dos ambientes do IFSul, conforme apresentado na Figura 1.



Figura 1: Proposta de placa de sinalização tátil. a) vista frontal b) vista lateral.

Ao final da análise, concluiu-se que o *design* sugerido para as placas respeita todas as características fundamentais, incluindo forma e tamanho das letras e símbolos, posição e dimensão da escritura Braille e diferenças de índices LRV¹; além disso, os desenhos escolhidos são recomendados pela bibliografia como símbolos universais e todas as informações contidas na placa estão em relevo. A disposição das letras e a altura dos relevos foram projetados para serem funcionais para pessoas com baixa ou nenhuma visão, além de serem capazes de atender plenamente aos requisitos dimensionais presentes na ABNT NBR 9050 caso o material sofra contração na consolidação da forma (ABNT, 2015; BRASIL, 2000; CONDE, 2016; GIL, 2000).

3.2 Desenvolvimento

Logo após a determinação da geometria e das particularidades da peça final, deu-se início às fases de levantamento dos problemas e busca de soluções. Utilizou-se o Questionário de Circunstâncias Inovadoras (QCI) como ferramenta complementar e ponto de partida na busca de soluções. Após a finalização do QCI, todos os problemas essenciais foram identificados, o que gerou um bom entendimento do tema e possibilitou a tomada

¹ Valor da Luz Refletida.

de decisão na busca de soluções. Segundo Aguirre *et al.* (2019), Souza (2019) e Raupp (2019), estes problemas são transferência de forma imperfeita; dificuldade para retirada da peça do molde e, empenamento e contração na placa moldada após passagem pela estufa.

3.2.1 Emprego da metodologia TRIZ

O método de conformação escolhido para a confecção de placas e mapas táteis, utilizando o composto amido/papel, no IFSul, tem sido a moldagem por compressão. Decidiu-se então estudar o impacto desta técnica para determinar se ela é a melhor escolha e se ela deve ser o processo sugerido para este desenvolvimento, avaliando as características desejadas para o produto e as eventuais contradições técnicas que podem aparecer ao longo da produção. Para esta análise, utilizou-se a TRIZ, um conjunto de ferramentas que indica os requisitos a serem priorizados no produto, assim como as contradições técnicas que podem surgir ao tentar alcançar um requisito e quais os princípios de solução sugeridos em cada caso (ROZENFELD *et al.*, 2010).

Como ponto de partida da TRIZ, deve-se elencar os requisitos a serem priorizados para garantir o atendimento da função principal do produto e os requisitos do cliente (ROZENFELD *et al.*, 2010). As funções principais da placa de sinalização tátil são: a) o fornecimento de informações táteis e b) o fornecimento de informações visuais. Portanto, para a definição dos requisitos do produto a serem priorizados, relacionou-se as necessidades do cliente – que nem sempre são requisitos técnicos de engenharia – com os requisitos técnicos do produto. O resultado foi obtido a partir de uma matriz QFD (Figura 2).

Dos resultados da casa da qualidade foram elencados três fatores de projeto prioritários, os quais são absolutamente necessários para a obtenção das funções primárias do produto. Em ordem, são eles: 1º) Coloração das letras ou da placa (contraste visual), 2º) Tamanho das letras e símbolos e 3º) Altura do relevo.

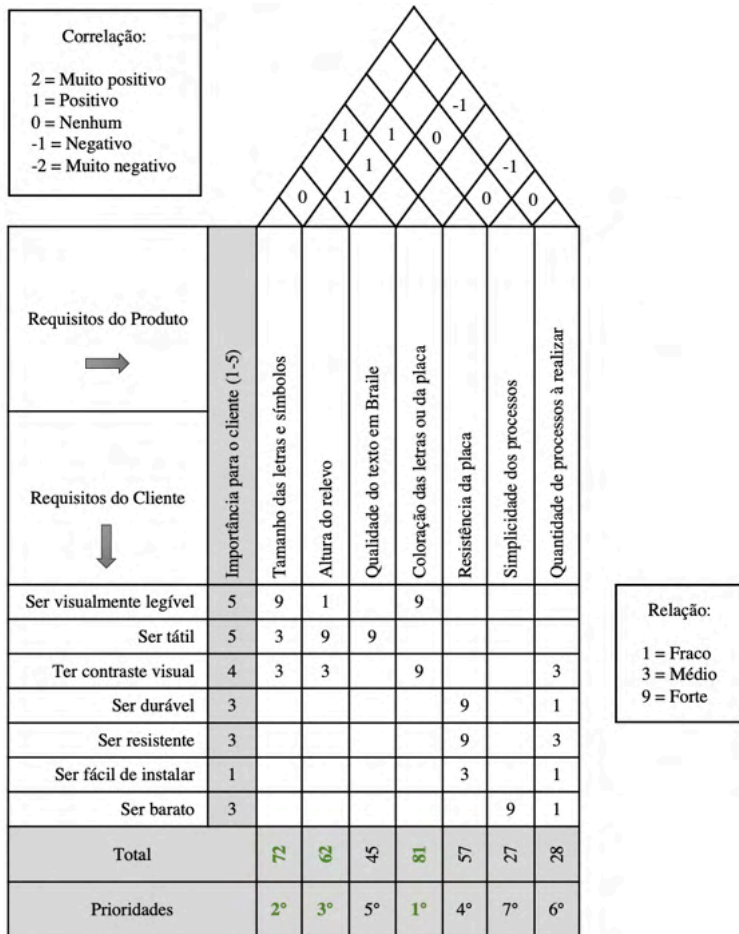


Figura 2: Matriz QFD.

Além de definir as prioridades entre os requisitos de projeto, a casa da qualidade também mostra a correlação de uns com os outros. Do teto do QFD pode-se determinar que, as únicas correlações negativas encontradas entre os requisitos técnicos deste produto, são o fato de que a busca pela melhor qualidade do texto em Braille e a busca pelo aumento de resistência da placa poderão influenciar negativamente na quantidade de processos a serem realizados.

Definidas as contradições entre os requisitos do produto e os requisitos do cliente, o próximo passo é definir se existe alguma contradição técnica proveniente do processo de fabricação, a moldagem por compressão. Partindo do estudo bibliográfico dos processos e das ferramentas necessárias para realizar uma moldagem por compressão, nota-se que as principais contradições técnicas, aplicadas no caso das placas táteis, são referentes à qualidade e funcionalidade do produto. A coloração das letras ou da placa (para gerar o contraste de cor) é uma delas. Outra contradição técnica proveniente da moldagem por

compressão é a qualidade da transferência de forma que depende exclusivamente da qualidade do molde.

Contradições técnicas que possuem princípios de solução são facilmente resolvidas aplicando-se o método TRIZ, porém, se as contradições técnicas se mostram numerosas, se elas não têm princípios de solução conhecidos ou se elas são extremamente caras para solucionar, é evidência de que o processo de conformação da placa tátil precisa ser mudado.

Para iniciar a busca pela identificação dos princípios inventivos da TRIZ que definirão se os requisitos contraditórios poderão ser corrigidos ou se o processo de produção avaliado não é o mais adequado, emprega-se a Matriz de Contradição (MC). A MC é obtida por meio da compilação de dados gerados pela ferramenta online TRIZ 40 (SOLID CREATIVITY, 2020). Para o desenvolvimento das placas táteis com amido/papel, utilizando especificamente o processo de conformação por compressão, as contradições que devem ser resolvidas, são:

a) Transferência de forma perfeita do molde para a peça sem impressão dos canais de saída de umidade e dos guias para remoção do produto. Para resolver esta contradição: a característica a ser melhorada é "23: perda de substância" e a característica a ser preservada é "6: superfície do objeto estático".

b) Aumento da qualidade das informações em relevo (em especial do arranjo em Braille) sem aumentar a dificuldade dos processos a serem realizados para a sua obtenção. Para resolver esta contradição: a característica a ser melhorada é "36: complexidade do produto" e a característica a ser preservada é "32: facilidade de realização".

c) Aumento da resistência da placa sem aumentar a dificuldade do processo. Para resolver esta contradição: a característica a ser melhorada é "14: resistência" e a característica a ser preservada é "32: facilidade de realização".

Segundo a análise da MC, é possível resolver as contradições técnicas geradas pelo processo de moldagem por compressão, empregando diversos Princípios de Solução. Portanto, sendo um processo que se enquadra na capacidade tecnológica do IFSul, que não demanda custo extra de aquisição de equipamentos, que não demanda mão de obra técnica especializada e que pode ter suas contradições facilmente resolvidas; fica evidenciado que a moldagem por compressão continua sendo o processo sugerido para a produção de placas táteis de amido/papel no IFSul – Campus Sapucaia do Sul.

3.2.2 Projeto de Incorporação

Com a decisão de continuidade do processo por meio da moldagem por compressão, resultado da aplicação da metodologia TRIZ, foi possível estruturar um processo de produção completo referenciado nas bibliografias auxiliares. Portanto, como resultado do Projeto de Incorporação, seguindo os critérios de engenharia enxuta apresentados por

Machado (2006), os critérios de sustentabilidade apresentado pela ONU (2020b) e as especificações técnicas da ABNT (2015), sugere-se dividir o projeto em 8 fases a fim de obter um produto de qualidade (Figura 3).

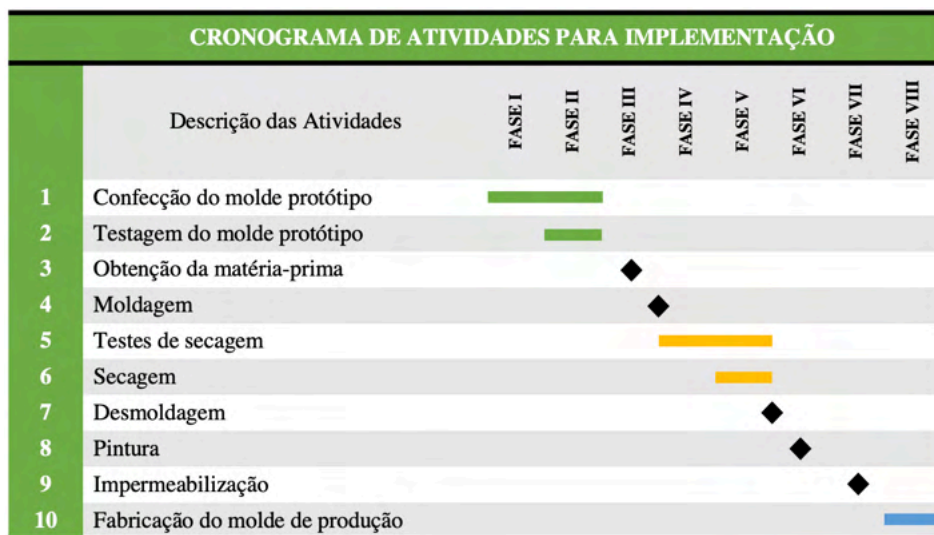


Figura 3: Cronograma de Implementação.

A primeira e a segunda fase deste cronograma se referem à confecção do molde. Ele deve garantir o formato, o tamanho e o relevo exatos das letras e dos símbolos, assim como do arranjo em Braille. Além disso, o molde deve ser capaz de cortar a placa laminada ainda molhada e facilitar a sua desmoldagem após o processo de secagem. A solução sugerida é a utilização de um molde na fase de secagem. Propõe-se a utilização de apenas um molde que será utilizado tanto para a moldagem por compressão quanto para a secagem em estufa. A confiabilidade desta decisão é assegurada pela Fase 2, onde deverão ser realizados tantos testes com os moldes, quanto necessário, antes de dar-se início à produção propriamente dita.

Sabe-se de antemão que a complexidade da placa proposta pode gerar problemas de transferência de forma. Para tanto, a metodologia TRIZ sugere o fracionamento do produto; porém, a fabricação de diversos moldes, um para cada elemento presente na placa, se tornaria caro e exigiria mais horas de trabalho. Além disso, os produtos gerados seriam três, ao invés de um só. Desta forma, sugere-se a produção fracionada das peças apenas na fase de testes com os protótipos. Após o completo domínio das técnicas empregadas, sugere-se a produção de moldes inteiros, que contemplem a totalidade dos elementos presentes no produto (moldes mais duráveis para fabricação em larga escala).

Do ponto de vista técnico, os canais para a evaporação da água na fase de secagem

(Fase 5) é uma das maiores dificuldades do desenvolvimento dos moldes, pois o tipo e o tamanho dos canais devem ser especificamente projetados para permitir a evaporação da água e não comprometer a geometria da peça durante a consolidação da forma, além de não comprometerem a resistência do molde durante a compressão. Groover (2016) diz que é comum haver a usinagem das superfícies internas do molde para a criação de passagens de ar estreitas, com cerca de 0,03 mm de profundidade e com 12 a 25 mm de largura. Estes canais permitem que o ar e a água escapem, mas são muito pequenos para que o polímero, viscoso, escoe por eles (GROOVER, 2016). Se forem evidenciados defeitos superficiais causados pelos canais de escape de umidade, pode-se considerar a hipótese de preenchimento temporário dos furos como sugerido na TRIZ, durante a fase de compressão.

Seguindo as informações apresentadas de Aguirre *et al.* (2019), determina-se que o molde deve ser projetado com aumento dimensional de 4 a 5% para garantir o espaçamento horizontal e as distâncias entre as letras do arranjo em Braille especificadas na norma técnica visto que o material sofre contração após conformação.

Como técnica de produção dos protótipos de molde, sugere-se a criação do modelo 3D, em *SolidWorks*, com dimensões apropriadas de formato e profundidade, exportação do arquivo em formato *STL* para a fabricação dos moldes por manufatura aditiva por material fundido *FDM (Fused Deposition Modeling)*. A geometria do molde deve ser feita de forma espelhada e os parâmetros de impressão devem ser 6 mm/s de velocidade de perímetro, 40% de taxa de preenchimento e altura de camada de 0,1 mm. O material escolhido, o arranjo de impressão e o nível de preenchimento do molde devem ser selecionados para suportar pressão de conformação e a temperatura da estufa durante todo o tempo de secagem. Para obtenção das informações sobre o filamento, sugere-se contatar o fabricante. Após o completo domínio das técnicas e das particularidades de conformação do composto amido/papel utilizando os moldes protótipos, sugere-se a obtenção de moldes mais duráveis e aptos a serem utilizados em larga escala.

A obtenção da mistura de amido e papel não deve ser obtida antes do término de todos os testes com o molde e da sua fabricação, a fim de não ocorrer desperdício de material. No início da Fase 3, deve-se obter a matéria-prima por meio da adição de 12g de amido gelatinizado, 16g de papel picado e 16,8g de amido seco. Ao fim desta etapa deve-se incorporar a mistura manualmente, passar a mistura pela laminadora a fim de obter lâminas de aproximadamente 2mm de espessura e cortar as lâminas obtidas, com o auxílio de uma tesoura, para obter aproximadamente as dimensões do molde.

No final da Fase 3, sugere-se dar início à moldagem. Para isso, o conjunto molde e moldado deve ser submetido à compressão, em prensa hidráulica. Deve-se aplicar uma força de 1,5 t até ser possível a verificação do escoamento do material, garantindo a transmissão da forma. Se forem utilizados preenchimentos nos canais de saída de umidade durante a compressão, eles devem ser retirados antes do conjunto molde/moldado ser

levado à estufa, uma vez que o preenchimento anularia a função dos canais.

A Fase 5, de secagem, é mais longa visto que a consolidação da forma deve ser feita em estufa à 90°C durante 1h, segundo a bibliografia. A redução da temperatura deve ser gradual e livre de umidade para obtenção de uma placa sem defeitos de empenamento. Imediatamente após a saída da estufa, a placa com o molde, deve ser posta em dessecador em temperatura ambiente por, no mínimo, 2h. O molde só deve ser retirado quando constatada a completa consolidação da forma.

A desmoldagem da placa e a pintura são atividades pontuais. O molde deve ser projetado com guias para auxiliar na retirada da peça, mas se a dificuldade persistir, pode-se utilizar gelo seco na parte inferior do molde e aplicar uma leve força manual de extração nas cavidades de extração.

Para obtenção do contraste de cor, algumas possibilidades podem ser consideradas. Pode-se utilizar corantes na fase de mistura, técnicas de *spray* com gabaritos e até mesmo adesivagem com um material na cor escolhida, entretanto, para esta atividade, sugere-se utilizar uma pintura posterior à consolidação da forma com tinta branca/neve que possua $LRV \geq 90$ pts em conjunto com uma tinta de tonalidade preta/cinza que possua $LRV \leq 4$ pts (ENCYCLOPEDIA, 2020).

A impermeabilização da placa é a última atividade sugerida antes da consolidação do processo e do início da produção em escala. Com base no trabalho de Porto *et al.* (2020), com o compósito amido/papel, sugere-se utilizar três demãos do impermeabilizante UG 132A, por ser a base de poliuretano do óleo de mamona, ou seja, de fonte renovável que mantém as características sustentáveis dos produtos desenvolvidos.

Como resultado do projeto de incorporação, após a sétima fase, estima-se obter uma placa com dimensões e limites bem definidos, capaz de realizar suas funções principais e que, ao mesmo tempo, seja durável, simples de ser obtida com um baixo custo de produção. Após esta etapa, sugere-se a fabricação de moldes duráveis que possibilitem a produção em larga escala utilizando um processo que foi bem estruturado nas fases anteriores.

Os materiais utilizados para este desenvolvimento são os principais aliados aos fatores ambientais defendidos pelos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, mas os processos que foram propostos de forma planejada e, portanto, enxuta, são igualmente um fator importante (MACHADO, 2006; ONU, 2020b).

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho propôs um processo produtivo adequado às restrições tecnológicas do IFSul, Campus Sapucaia do Sul, para a produção de placas táteis de identificação, que possibilitem a acessibilidade de deficientes visuais com maior autonomia no Campus. A matéria-prima utilizada foi um composto biodegradável de amido e de resíduos de papel, que foi definido por concepção. Para o atendimento do objetivo geral do trabalho,

foi proposto um modelo de placa para um dos ambientes do IFSul. Ele determina as características geométricas obrigatórias, segundo a NBR 9050, e servirá de exemplo para o desenvolvimento das placas para os outros ambientes.

A próxima etapa foi a identificação dos problemas essenciais e o estudo dos requisitos de projeto em contradição. Os resultados encontrados evidenciaram que os problemas de transferência de forma imperfeita; dificuldade para retirada da peça do molde e, empenamento e contração na placa moldada precisariam ser resolvidos. Os requisitos em contradição, se mostraram ser o valor empregado na fabricação, a quantidade e a facilidade dos processos necessários para obtenção de placas que não apresentem os defeitos citados. Independentemente das contradições técnicas, a análise de requisitos de projeto a serem priorizados mostrou que a coloração das letras ou da placa (para fornecer contraste visual), o tamanho das letras e símbolos e a altura do relevo influenciam fortemente na obtenção de uma placa de sinalização completamente funcional. A análise do processo de conformação utilizado atualmente mostrou que os problemas e as contradições técnicas podem ser facilmente resolvidos com soluções como a segmentação e a qualidade local e, portanto, ficou evidenciado que o processo de conformação mais adequado para o produto continua sendo a moldagem por compressão.

Por fim, a estratégia de fabricação para obtenção das funções desejadas foi definida no Projeto de Incorporação. Um cronograma de implementação foi criado e as especificidades técnicas de cada componente e de cada fase do processo foram apresentadas e podem ser seguidas para os desenvolvimentos futuros.

REFERÊNCIAS

AGUIRRE, H. R.; CALCAGNO, C. I. W.; DE BARBA JR, D. J. **Desenvolvimento de moldes para produzir placas em Braille**. 8º Seminário de Inovação e Tecnologia do IFSul. Sapucaia do Sul, 2019. Disponível em: <<http://ww2.sapucaia.ifsul.edu.br/sites/inovtec/wpcontent/uploads/sites/2/2019/12/Anais-INOVTEC-2019.pdf>>. Acesso em 02 set. 2020.

ASHBY, M. F.; JOHNSON, K. **Materiais e design: arte e ciência da seleção de materiais no design de produto**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011. 350 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9050: Acessibilidade a edificações, mobiliários, espaços e equipamentos urbanos**. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<https://www.mdh.gov.br/biblioteca/pessoa-comdeficiencia/acessibilidade-a-edificacoes-mobiliario-espacos-e-equipamentos-urbanos/>>. Acesso em 21 fev. 2020.

BRASIL. **Lei nº 10.098, de 19 de dezembro de 2000. Estabelece normas gerais e critérios básicos para promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida, e dá outras providências**. Presidência da República. Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, DF. 2000. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/10098.htm>. Acesso em 27 fev. 2020.

CAVALCANTI, F. M. **Modelagem do Processo de Secagem de Partículas de Polipropileno**. 2017. 117 f. Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Química, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CONDE, A. J. M. **Definição de cegueira e baixa visão**. Instituto Benjamin Constant. Ministério da Educação, Brasil. 2016. Disponível em: <<http://www.ibr.gov.br/educacao/71-educacao-basica/ensino-fundamental/258-definicao-de-cegueira-e-baixa-visao>>. Acesso em 02 jun. 2020.

DEMARQUE, E. **TRIZ: teoria para a resolução de problemas inventivos aplicada ao planejamento de processos na indústria automotiva**. 2005. 250 f. Dissertação (mestrado profissionalizante) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo.

ENCYCLOPEDIA. **Cores de tintas e índices LRV**. 2020. Tabelas disponíveis em: <<https://encycolorpedia.pt/292929>>. Acesso em 04 set. 2020.

GIL, M. **Deficiência visual**. Brasília : MEC. Secretaria de Educação a Distância, 2000. 80 p.

GROOVER, M. P. **Introdução aos processos de fabricação**. Rio de Janeiro: LTC, 2014. 737p.

HAIK, Y.; SHAHIN, T. **Engineering Design Process**. 2nd ed. Stamford, USA: Cengage Learning, 2011. 280 p.

IFSUL. **Projeto Pedagógico do Curso Superior de Engenharia Mecânica**. Sapucaia do Sul, 2010. Disponível em: <<http://intranet.ifsul.edu.br/catalogo/curso/45>>. Acesso em 13 mai. 2020.

MACHADO, M. C. **Princípios enxutos no processo de desenvolvimento de produtos: proposta de uma metodologia para implementação**. 2006. 248 f. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção. São Paulo, São Paulo.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **A ONU e o meio ambiente**. Brasil, 2020b. [Online]. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/acao/meio-ambiente/>>. Acesso em: 07 mar. 2020.

PAHL, G.; BEITZ, W.; FELDHUSEN, J. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. 6° ed. Darmstadt: Blucher, 2005. 432 p.

PORTO, J. S.; ANGRIZANI, C. C.; CALCAGNO, C. I. W.; DUARTE, L. C. **Estudo sobre a impermeabilização do compósito amido / resíduo de papel**. DATJournal, v. 5, p. 99-113, 2020.

RAUPP, D. O. **Desenvolvimento de produto para acessibilidade – um ensaio para fabricação de mapas táteis**. 2019. 34 f. TCC (graduação) – Instituto Federal Sul Rio-Grandense. Curso Superior de Engenharia Mecânica, Sapucaia do Sul, Rio Grande do Sul.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de desenvolvimento de produtos: Uma referência para a melhoria do processo**. 1° ed. São Paulo: Saraiva, 2010. 541 p.

SOLID CREATIVITY. **TRIZ 40**. 2020. Matriz disponível em: <http://www.triz40.com/aff_Matrice_TRIZ.php>. Acesso em 03 jun. 2020.

SOUZA, R. R. **Desenvolvimento de placas de identificação táteis para acessibilidade de deficientes visuais no IFSul/Sapucaia do Sul.** 2019. 73 f. TCC (graduação) – Instituto Federal Sul Rio-Grandense. Curso Superior de Engenharia Mecânica, Sapucaia do Sul, Rio Grande do Sul.

WITS, W. W.; VANEKER, T. H. J. **TRIZ based interface conflict resolving strategies for modular product architectures.** TRIZ Future Conference 2010. Elsevier, Procedia Engineering, v. 9, p. 30 – 39, 2011.

RESERVATÓRIO DE ÁGUA INTELIGENTE PARA DEFICIENTES AUDITIVOS RIBEIRINHOS

Data de aceite: 20/08/2021

Márcio Valério de Oliveira Favacho

Mestrando do Programa de Pós-Graduação em
Cidades: Territórios e Identidades-PPGCITI-
UFPA
<https://orcid.org/0000-2603-0607-946X>

Vivian da Silva Lobato

Professora do Programa de Pós-Graduação em
Cidades: Territórios e Identidades-PPGCITI-
UFPA
<https://orcid.org/0000-0002-9501-0200>

RESUMO: Neste trabalho construímos um protótipo para monitorar o nível de água que poderá ajudar pessoas com algum tipo de deficiência auditiva das comunidades ribeirinhas do baixo Tocantins, no qual abrange o IFPA – Campus Abaetetuba, com objetivo de proporcionar aos mesmo uma melhor eficiência no monitoramento e utilização de reservatórios de forma sustentável e adaptável a este grupo de pessoas sócio economicamente vulnerável. Para isso, adotamos como metodologia a PBL – Problem Based Learning, ou seja, aprendizagem baseada em problemas, para este protótipo utilizamos a tecnologia da plataforma Arduino, tecnologia está de fácil aquisição e montagem, através de uma placa microcontroladora uno, protoboard, além de leds verdes, amarelos e vermelhos, jumpers e uma bomba caseira para realizar o monitoramento do nível de água. Diante de vários métodos existente de

automação e controle, podemos utilizar o arduino em diversos projetos, tendo em vista que vários CLP's (controladores lógicos programáveis) não estejam tão acessíveis quanto ele, em questão de custos mais elevados. O prototipos atendeu todas as expectativas esperadas que seriam a fácil manipulação, montagem e adaptação no reservatório do aluno deficiente auditivo. Por fim podemos dizer com base na experimentação e relatos que o projeto pode ser uma alternativa de baixo custo comparados aos outros equipamentos e tecnologias existentes no mercado tanto automatizadas ou mecânicas, porém sem nenhum recurso visual direcionado ao publico experimentado.

PALAVRAS - CHAVE: Arduino; tecnologia assistiva; educação inclusiva.

ABSTRACT: In this work we built a prototype to monitor the water level that can help people with some type of hearing loss of the riverside communities of lower Tocantins, which covers the IFPA – Abaetetuba Campus, with the objective of providing them with a better efficiency in monitoring and using reservoirs in a sustainable and adaptable way to this group of economically vulnerable socio-friendly people. For this, we adopted as methodology the PBL - Problem Based Learning, that is, problem-based learning, for this prototype we use the technology of the Arduino platform, technology is easy to acquire and assemble, through a microcontroller plate uno, protoboard, in addition to green, yellow and red LEDs, jumpers and a homemade pump to perform water level monitoring. Given several existing methods of automation and control, we

can use arduino in several projects, considering that several PLC's (programmable logic controllers) are not as accessible as it is, in terms of higher costs. The prototics met all the expected expectations that would be easy manilulation, assembly and adaptation in the reservoir of the hearing impaired student. Finally, we can say based on experimentation and reports that the project can be a low cost alternative compared to other existing equipment and technologies in the market, both automated or mechanical, but without any visual resource directed to the experienced public.

KEYWORDS: Arduino; assistive technology; inclusive education.

1 | INTRODUÇÃO

A tecnologia nos dias atuais tem apresentado avanços surpreendentes, tornando o dia a dia das pessoas muito mais prático. Todavia, nem todos possuem acesso a essas tecnologias, pois há uma grande parte da população que é menos favorecida economicamente, e dentro dessa esfera da população, há um grupo de pessoas que são ainda mais “excluídas” destas tecnologias - os surdos que acabam acumulando varias formas de exclusão desde o preconceito, pobreza, falta de politicas publicas direcionadas a elas no que tange o processo de ensino aprendizagem tanto na zona urbana, rural ou comunidades ribeirinhas e etc.

Há anos a comunidade surda tem buscado alcançar a inclusão e reconhecimento como uma cultura linguística diversa e ao mesmo tempo representativa, um dos maiores avanços nessa luta foi o reconhecimento da Língua Brasileira de Sinais (LIBRAS) como a segunda língua oficial do Brasil, mas as lutas não estão presentes somente no campo da educação, e sim em diversos outros setores, incluindo o da tecnologia.

Recursos tecnológicos, como a tenologia assistiva estão sendo introduzidos, cada vez mais, no sistema social e educacional. Isto mostra que pessoas com surdez, conseguem ter mais facilidade na sociabilidade, gerando uma maior inclusão social (RIBEIRO; MATOS; PIMENTEL, 2017). Algumas tecnologias assistivas, podem ajudar bastante nas relações de ensino e aprendizagem em sala de aula, como: Videofone VPAD¹ - programa SignLive que permite fazer ligações através do celular e do computador, Virtual Vision e o Hand Talk (SANTOS, 2017); mostrando a importância e relevância de obter, cada vez mais, recursos para o auxílio com surdos, tendo em vista que estes métodos são bastante eficazes.

Um destes métodos visa o monitoramento de água na caixa e são diversos, contudo, grande parte desses não atendem as necessidades da pessoa surda, já que os mesmos utilizam como mecanismo para indicar se a caixa d'água esta cheia ou não a emissão de sons, o que afeta diretamente a pessoa surda que acaba por ser “excluída” de tecnologias como estas que surgem para facilitar as tarefas do dia a dia.

Assim, este projeto consiste em construir um aparelho de monitoramento de vazão

¹ É uma Tecnologia de Comunicação por vídeo e oferece para a comunidade surda maior qualidade de vida, liberdade na comunicação e independência. Com a utilização de uma central de intérpretes online, sendo considerada uma tecnologia de acessibilidade para os surdos e ouvintes.

de água na caixa d'água para melhor ajudar o deficiente auditivo que reside sozinho.

O aparelho irá medir o nível da água dentro do reservatório através de um painel de LEDs, conforme a figura 1, (mostra a configuração técnica do painel), que indicarão o nível da água no momento de seu abastecimento possibilitando o monitoramento do reservatório, para determinar o nível da água com o objetivo de ajudar o indivíduo surdo a eficaz sustentabilidades dos recursos hídricos disponíveis a ele, sobre tudo no que tange água potável.

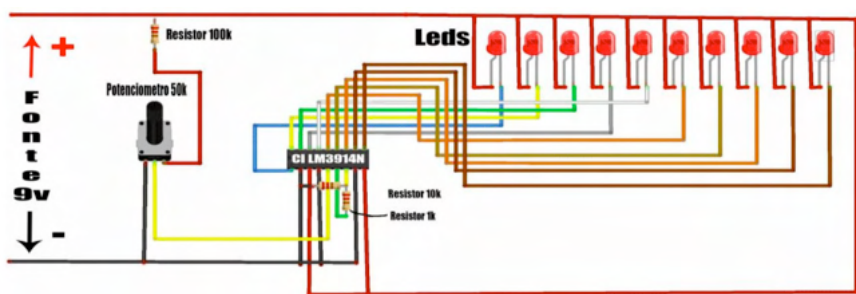


Figura 1: Esquema do projeto.

Fonte: <https://drive.google.com/file/d/1SDXDTbvMziTgMpnV43XKbkYkmcjaNJ8R/view>.

2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Bersch (2005; 2013), Brasil (2007), Farmer (2006) e Corrad (2011) tratam sobre conceitos de tecnologias e seu uso para a inclusão de pessoas portadoras de necessidades especiais. Embasado nos conceitos destes autores e na intenção de auxiliar a pessoa surda que reside sozinha, este projeto realiza o monitoramento da vazão na caixa d'água, sem que haja necessidade da pessoa se deslocar até o reservatório para verificar a quantidade de água existente.

Sem dúvida, o avanço da tecnologia ao longo dos anos tem facilitado o trabalho do ser humano, Farmer (2006) previu que “um dia as máquinas começarão a analisar o cenário, usando modelos cognitivos complexos. Vão superar totalmente os operadores humanos”.

Para o supracitado autor, o avanço da tecnologia será tão grande que máquinas futuramente serão capazes de pensar, através de métodos menos complexos, onde são criados projetos que visam auxiliar os seres humanos na execução de diversas atividades de seu cotidiano do lar, do seu ambiente de trabalho e da vida em sociedade tais como: pagar uma conta, ligar equipamentos remotamente, monitorar ambientes, acender ou apagar luzes entre outros. No entanto, as tecnologias criadas visam a maioria da população ouvinte, utilizando, portanto sonorização para identificar, ou lembrar o usuário de determinado assunto, como por exemplo: atender o celular, monitorar o nível de água

na caixa d'água. Este último exemplo usa a sonorização para avisar sobre a quantidade de líquido na caixa, o que cria uma barreira para a autonomia e inserção do surdo nas tecnologias criadas.

Como forma de incluir a comunidade surda na sociedade foi criado a tecnologia assistiva, que de acordo com Bersch (2005) é um arsenal de recursos e serviços que visam proporcionar ou ampliar a capacidade funcional de pessoas com deficiência de modo que estas possam ter vida independente e inclusão social. Para Brasil (2007) a tecnologia surge, atualmente, não para corrigir erros ou problemas dos surdos, mas sim como uma aliada do surdo para sua vivência e interação, segundo o autor, a tecnologia é o “elemento que facilita a autonomia pessoal ou possibilita o acesso e o uso do meio físico” e, no que concerne ao conceito de tecnologia assistiva, Brasil (2007) cita que:

[...] é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover funcionalidade, relacionada a atividade e participação, de pessoas com deficiências, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social (BRASIL,2007).

De acordo com os autores, os recursos tecnológicos além de auxiliar, facilitam a inclusão do surdo na sociedade, além de promover maior autonomia.

O excelente desempenho com relação ao processo de classificação dos mesmos podem ajudar na mobilidade, comunicação ampliada, acesso ao computador, adequação em veículos, colaborar no cotidiano de cada indivíduo, principalmente, auxiliar pessoas surdas ou com deficiência auditiva (BERSCH, 2013). No seu uso onde “asseguram as condições de adolescentes surdos nas interações com interfaces web, dispondo de capacidades e escolhas próprias em meios informacionais digitais” (CORRADI, 2011).

3 | METODOLOGIA

3.1 Materiais

Para a construção do monitorador de nível de água em um reservatório foram utilizados os seguintes materiais, conforme tabela e figura abaixo:

Item	Quantidade
LED Verde	03
LED Amarelos	03
LED Vermelhos	04
Placa Arduino	01
Resistores 300 Ω	03
Potenciômetro 50k	01
Jumpers	50
Protoboard	01
Caixa de Vidro	01
Haste de Madeira	01
Tampinhas Garrafa	02
Bola de Isopor 60	01
Fita Isolante	01
Fita Dupla Face	01
Cola Polar	01
Case Potenciômetro	01

Tabela 1 – Materiais Utilizados.

Fonte: Arquivo Pessoal (2019).

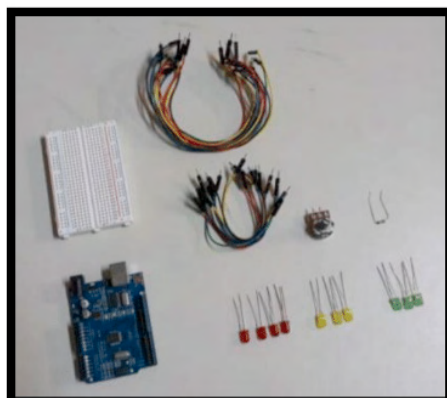


Figura 2: Materiais utilizados.

Fonte: Arquivo pessoal (2019).

3.2 Montagem

Para a montagem do equipamento, seguimos cinco passos, descritos abaixo:

1º PASSO

Consistiu na montagem do circuito os LEDs foram organizados na Protoboard de forma sequencial: 3 vermelhos para indicar que o nível de água está baixo e que a bomba precisa ser ligada, 3 amarelos para indicar que o nível da água já está na metade do reservatório, 3 verdes para indicar que o reservatório já está cheio e 1 vermelho para indicar que a água está transbordando, conforme mostrado na figura 3 – Inserção dos LEDs e Jumpers, de acordo com a figura3 abaixo:.

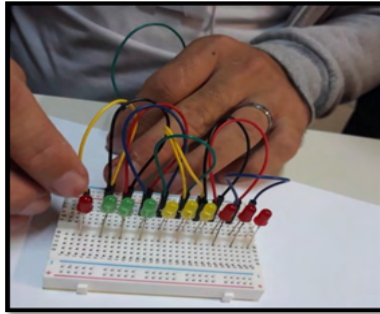


Figura 3: Inserção dos LEDs e Jumpers.

Fonte: Arquivo pessoal (2019).

2º PASSO

Realizou-se a conexão em série utilizando Jumpers macho/macho (positivo) e os negativos irão receber uma carga única. A seguir inserir os resistores, a quantidade de resistores é importante para o controle da corrente elétrica. Após a inserção dos resistores realizou-se a conexão com a placa conforme o esquema apresentado na introdução deste projeto. As portas utilizadas no arduíno foram as digitais de 2 a 11 e a porta GND, de acordo com a figura 4 abaixo:

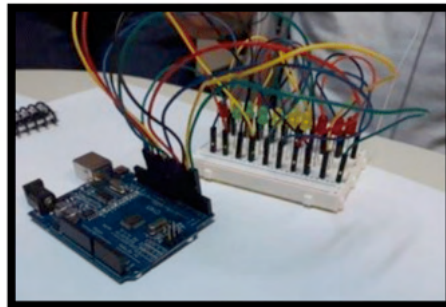


Figura 4: conexão da protoboard com a placa.

Fonte: Arquivo pessoal (2019).

3º PASSO

Inseriu-se o potenciômetro que deve ser conectado nas portas A0, 5V e GND da placa Arduino, conforme figuras 5 e 6 abaixo:

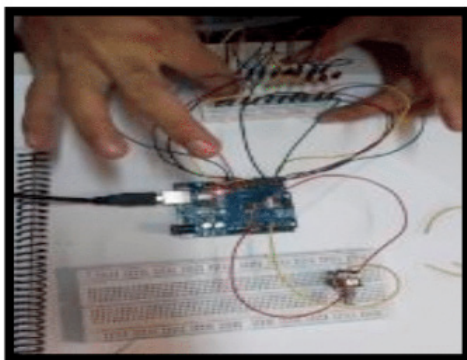


Figura 5: conexão do Potenciometro com a placa.

Fonte: Arquivo pessoal (2019).

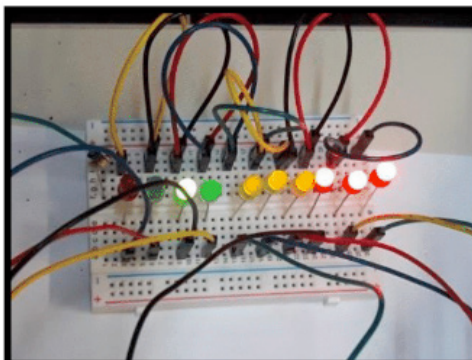


Figura 6: LED'S em funcionamento.

Fonte: Arquivo pessoal (2019).

Com o circuito já montado, a placa precisou receber as instruções (Código Fonte). A linguagem utilizada neste projeto é a C++, descrita em seus anexos.

4º PASSO

Como suporte para medir o nível de água, foram acoplados no potenciômetro a haste de madeira e na extremidade final da haste foram coladas duas tampinhas de garrafas pet junto com uma bola de isopor revestida com fita isolante. Assim será feito a suspensão do suporte de acordo com o nível da água.



Figura 7: Haste de madeira confeccionada.

Fonte: Arquivo pessoal (2019).

5º PASSO

No quinto foi realizada a montagem do projeto. Na caixa de vidro foi fixado o circuito na parte externa e na parte interna foi fixado o potenciômetro protegido pelo Case para impedir o contato dele com a água. Vale ressaltar a necessidade de isolar os cantos do Case para garantir a proteção do circuito, conforme figuras 8.1 e 8.2:

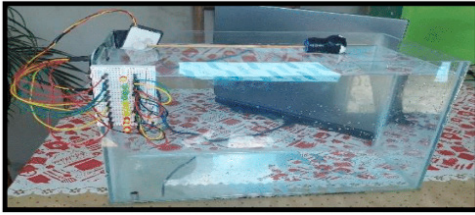


Figura 8.1: Protótipo Montado Verticalmente.

Fonte: Arquivo pessoal (2019).

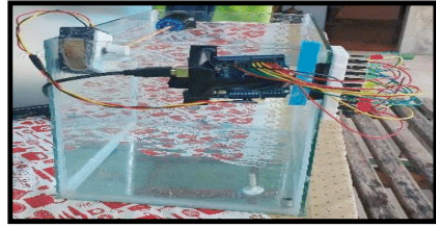


Figura 8.2: Protótipo Montado na Horizontal.

Fonte: Arquivo pessoal (2019).

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desperdício de água potável ou não é uma questão muito séria a ser pensada nos dias atuais, pois se tornou uma preocupação global, mais ainda para as comunidades ribeirinhas pois a poluição afasta a possibilidade de água potável. Se nessa comunidade houver portadores de necessidades especiais, a utilização ou captação da água apresenta uma maior dificuldade devido suas dificuldades limitadas. Este trabalho apresentou uma pesquisa com aplicação prática que teve como objetivo geral o auxílio a pessoa com deficiência auditiva ou com surdez genética ou adquirida a monitorar o nível de água dentro do reservatório e assim evitar o desperdício da água. Com isso foi proposto a construção de um protótipo utilizando para identificação do nível de água de um reservatório um simples circuito e LEDs com intuito de mostrar a facilidade de aquisição e montagens dos materiais até mesmo pelas pessoas com deficiência auditiva de comunidades ribeirinhas objetivando a sustentabilidade hídrica, comprovando que a transferência de propriedade de projetos acadêmicos realizados dentro de uma metodologia de aprendizagem de sala de aula pode ser uma saída fundamental de apoio as comunidades ribeirinhas do entorno do campus bastando incentivos financeiros.



Fonte: Arquivo pessoal (2019).

REFERÊNCIAS

Redação RPA. **A tecnologia a favor dos surdos e deficientes auditivos**. Disponível em: <<https://razoesparaacreditar.com/tecnologia/tecnologia-favor-surdos-e-deficientes-auditivos/>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

DA SILVA, A. V. **A inclusão digital e social fornecida pela tecnologia da informação aos deficientes auditivos**. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/1411822-A-inclusao-digital-e-social-fornecida-pela-tecnologia-da-informacao-aos-deficientes-auditivos.html>>. Acesso em: 20 ago. 2019.

BERSCH, R. **Introdução à Tecnologia Assistiva**. Porto Alegre, 2005.

_____. Centro Especializado em Desenvolvimento Infantil. **Introdução à Tecnologia Assistiva**. Porto Alegre, 2013.

BRASIL. **Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. Comitê de Ajudas Técnicas**. Tecnologia Assistiva. Brasília: Corede, 2009.

CORRAD, J. A. M. **Acessibilidade em ambientes informacionais digitais**: uma questão de diferença. São Paulo: Unesp, 2011.

FARMER, D. As máquinas vão pensar. **Revista Sala de Aula**. São Paulo: Abril, 2006.

RIBEIRO, S. S.; MATOS, A. P. da S.; PIMENTEL, S. C. **Inclusão de estudantes surdos no ensino superior**: contribuições dos recursos de tecnologia assistiva. Feira de Santana, 2017.

SANTOS, P. K.; DANTAS, N. M. R. Tecnologias assistivas e a inclusão do estudante surdo na educação superior. **Revista Internacional de Educação Superior**: Campinas, v.3, n.3, p. 494-514, set./dez. 2017.

ANEXOS

- Código Fonte:

```
constint LM35 = 0;
floatporcentagen = 0;
intpotenc = 0;
constint LED[] = {
  2,3,4,5,6,7,8,9,10,11};
void setup(){
  analogReference(INTERNAL);
  for(int x = 0; x < 10; x++){
    pinMode(LED[x], OUTPUT);
  }
}
void loop(){
```

```

potenc = analogRead(LM35);
porcentagen = potenc * 0.1075268817204301;
if(porcentagen > 10){
digitalWrite(LED[0], HIGH);
}
else{
digitalWrite(LED[0], LOW);
}
if(porcentagen > 20){
digitalWrite(LED[1], HIGH);
}
else{
digitalWrite(LED[1], LOW);
}
if(porcentagen > 30){
digitalWrite(LED[2], HIGH);
}
else{
digitalWrite(LED[2], LOW);
}
if(porcentagen > 40){
digitalWrite(LED[3], HIGH);
}
else{
digitalWrite(LED[3], LOW);
}
if(porcentagen > 50){
digitalWrite(LED[4], HIGH);
}
else{
digitalWrite(LED[4], LOW);
}
if(porcentagen > 60){
digitalWrite(LED[5], HIGH);
}
else{
digitalWrite(LED[5], LOW);
}
if(porcentagen > 70){

```

```
digitalWrite(LED[6], HIGH);
}
else{
digitalWrite(LED[6], LOW);
}
if(percentagen > 80){
digitalWrite(LED[7], HIGH);
}
else{
digitalWrite(LED[7], LOW);
}
if(percentagen > 90){
digitalWrite(LED[8], HIGH);
}
else{
digitalWrite(LED[8], LOW);
}
if(percentagen > 100){
digitalWrite(LED[9], HIGH);
}
else{
digitalWrite(LED[9], LOW);
}
}
```

CAPÍTULO 16

METHODOLOGY FOR ASSESSING ENVIRONMENTAL EFFICIENCY IN MUNICIPALITIES USING DATA ENVELOPMENT ANALYSIS

Data de aceite: 20/08/2021

Data de submissão: 02/08/2021

Rildo Vieira de Araújo

Universidade Católica Dom Bosco (UCDB-Campo Grande-MS) e (IFMT-Barra do Garças-MT), Ciência Ambientais, Sustentabilidade Agropecuária e Agrimensura
<http://lattes.cnpq.br/8724163396459735>

Robert Armando Espejo

Universidade Católica Dom Bosco (UCDB-Campo Grande-MS), Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária
<http://lattes.cnpq.br/7687668257685795>

Michel Constantino

Universidade Católica Dom Bosco (UCDB-Campo Grande-MS), Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária
<http://lattes.cnpq.br/2196653320939118>

Paula Martin de Moraes

Universidade Católica Dom Bosco (UCDB-Campo Grande-MS), Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária
<http://lattes.cnpq.br/1171589679128931>

Romildo Camargo Martins

Universidade Católica Dom Bosco (UCDB-Campo Grande-MS), Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária
<http://lattes.cnpq.br/3446894276755097>

Ana Cristina de Almeida Ribeiro

Universidade Federal de Mato Grosso-Barra do Garças, Biologia e Faculdade Única (ÚNICA), Ecologia e Biodiversidade
<http://lattes.cnpq.br/6244849447753988>

Gabriel Paes Herrera

Universidade Católica Dom Bosco (UCDB –Campo Grande-MS) e Griffith University, Australia, Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária
<http://lattes.cnpq.br/0427832372078003>

Francisco Sousa Lira

Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Goiás, UFG, Goiânia, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/0419221462834048>

Micaella Lima Nogueira

Universidade Católica Dom Bosco (UCDB-Campo Grande-MS), Doutoranda em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária, Universidade Católica Dom Bosco
<http://lattes.cnpq.br/7157513037037360>

Karoline Borges

Universidade Federal do Sul e sudeste do Pará (UNIFESSPA), Mestre em engenharia Civil
<http://lattes.cnpq.br/2377806547017289>

Sheyla Thays Vieira Barcelos

Doutoranda em Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária, Universidade Católica Dom Bosco
<http://lattes.cnpq.br/5482602985686580>

Reginaldo B. Costa

Universidade Católica Dom Bosco (UCDB-Campo Grande-MS), Ciências Ambientais e Sustentabilidade Agropecuária
<http://lattes.cnpq.br/5482602985686580>

ABSTRACT: The present study aimed at measuring and evaluating environmental efficiency of municipalities located in Araguaia River Valley, in the Goiás State, Brazil. Forty-one municipalities from the river basin adjacent to Araguaia were included, with data of 2014 and 2016. For the analysis, we considered economic and environmental variables and used the Data Envelopment Analysis (DEA) in its CRS and VRS models with standard and normalized composite efficiency, both input-oriented models. Results showed low standard environmental mean efficiency in the CRS model, with the values of 0.45 (2014) and 0.44 (2016); in the VRS model, 0.51 for standard environmental efficiency and 0.58 for normalized environmental efficiency in the year 2014, and standard environmental efficiency of 0.47 with normalized environmental efficiency of 0.54 in the year 2016. This suggests the need for effective governance, with environmental planning, and well-established mechanisms and goals to achieve a desirable environmental efficiency that optimize water and energy consumption, and deforestation reduction, increasing GDP and the Municipal Development Index (IDM). In the comparison between models, VRS, which considers the variation in the normalized scale, because it better discriminates DMUs' false efficiencies, proved to be the most suitable for analyzing the municipalities' environmental efficiency.

KEYWORDS: Goiás State; sustainability; DEA; CRS model; VRS model.

1 | INTRODUCTION

The Araguaia River Valley region is located in one of the main Brazilian river basins and comprehends several municipalities. It is located on the river margins and adjacent to its affluents. From its headwaters at “*Serra do Cipó*”, in the *Mineiros*, Goiás State (GO) and *Alto Taquari*, Mato Grosso State (MT) municipalities, the Araguaia River is 2,114 km long. It is worth highlighting that the state economy grew above the national mean in the first trimester of 2019 at 1.3% against Brazil's 0.5% (IMB, 2019), and a substantial part of this growth came from the Araguaia Valley municipalities' participation. On the other hand, some activities, such as the agricultural, hunting and predatory fishing have been consistently affecting the river. The region also suffers with soil degradation and large gullies. Hence, hydric resources are of utmost importance for the state and the Central-West region, especially in regard to fluvial transport, tourism with touristic attractions at its margins, and the subsistence of many riparian dwellers through fishing (BRASIL, 2019).

In the face of an increasing demographic growth and the world's drinking water supply decrease, environmental impacts threatening natural resources in one of the most important regions of Brazil's Central-West, start to be the focus of public policies. Thus, it becomes important to measure and evaluate the mentioned environmental and economic efficiencies, as well as mitigating actions adopted in the Araguaia Valley municipalities.

In this sense, a methodology that has shown to be effective to the efficiency analysis in several countries is the Data Envelopment Analysis (DEA), which is frequently applied in energy, economic and environmental modelling (Begum et al., 2010). Despite it already being used for at least 40 years, it is still a constantly advancing field which allows its

applications in different areas of knowledge (Wojcik et al., 2018).

Environmental efficiency studies have evaluated several situations of management, innovation and technology (Li et al., 2013). They aim to minimize the impact of given inputs on nature and have shown that more efficient cities will use resources adequately, which guarantees economic growth and development sustainably (Piña et al., 2016). China's human resources and environmental efficiency assessment, in using the DEA methodology, showed that adequate ways of using urban resources and environmental efficiency will depend on technological innovation and effective governance (Xiaoping et al., 2014).

Some variables of our study were based on the papers of Xiaoping et al. (2014) and Zhao (2018), which consider cities as integrated systems of resources, economy and environments. To apply the DEA model, the authors defined that every city was constituted as a production decision-making unit using inputs to define outputs. They add that to simplify, inputs of a decision-making unit (DMU) are defined as capital, work, land, energy and water, with outcomes that influence GDP and other urban environmental and economic indicators.

Thus, the present study aimed at measuring and evaluating the environmental efficiency of municipalities located in the Araguaia River Valley, In the Goiás State, Brazil, one of the most important hydric resources of Brazil's Central-West region, via Data Envelopment Analysis.

2 | METHODOLOGY

The data used were from the years 2014 and 2016. They comprised 41 municipalities located in the Araguaia River Valley, close to its headwaters and at the margins of the river basin, composing the center-west, southwest and northwest regions of Goiás state (Figure 1).

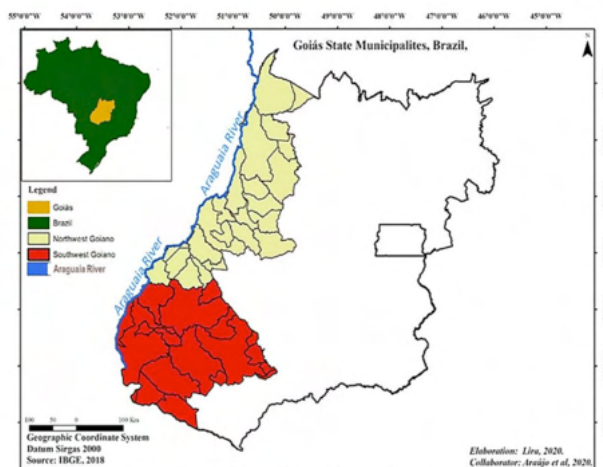


Fig. 1. Cartographic map of the location of municipalities evaluated in the Araguaia Valley, Goiás State, Brazil. Source: Authors of the present paper.

2.1 Study variables and data processing

Data corresponding to energy consumption and the Municipal Development Index (IDM) were collected from Goiás Statistic Database (BDE-Goiás, 2019); per capita Gross Domestic Product (GDP), on the website of the Brazilian Institute of Statistics and Geography (IBGE, 2019), and water consumption and deforestation, on the website of the National System of Information about Sanitation (SNIS, 2019) and on the database of the National Institute of Space Research (INPE, 2018).

The number of inputs and outputs was that suggested by the technique of Banker et al.(1989) and Cooper et al. (2000) for Data Envelopment Analysis – DEA, considering p the number of inputs and q the number of outputs used in the analysis. So, sample size (n) should satisfy the following: $n \geq \text{Max} \{p \times q, 3(p + q)\}$. For the present study, we have $41 > = \text{Max} \{3 \times 2, 3(3 + 2)\} = 15$.

For the definition of variables (Table 1), we used the compensatory method of normalization (single parameter) proposed by Angulo-Meza et al. (2007), which considers theoretically reachable extreme values. The combination of the set of variables chosen has great importance in the DMUs' efficiency acquisition (Thanassoulis et al., 1996).

Energy Consumption (MWh)	Water Consumption (m ³ /year)	Cleared Area (km ²)	Per capita GDP (\$)	Overall IDM
INPUT	INPUT	INPUT	OUTPUT	OUTPUT

Table 1 Variables (inputs and outputs) used in the study.

Source: Elaborated by the authors.

For data processing we used the software R with benchmarking package and ISYDS (Integrated System for Decision Support). To classify the efficiency interval, variables were organized as per Table 2.

Efficiency Interval	Efficiency Level
0.5999 – 0.0000	Low
0.6000 – 0.6999	Medium
0.7000 – 0.9999	High
1	Efficient

Table 2 Efficiency intervals adopted for result analysis Source: Adapted from Castelão, 2016.

2.2 The Data Envelopment Analysis (DEA) methodology

The data envelopment analysis model began with Debreau (1951), Koopmans (1951) and Farrell (1957), and was improved afterwards by Charnes, Cooper and Rhodes (1978), and by Banker, Charnes and Cooper (1984) (Ferreira and Gomes, 2012).

There are two DEA models. The first is called CRS, or constant returns to scale,

and the second, VRS, variable returns to scale. In addition, they can follow two types of orientation as for modification in variables: they are input-oriented and output-oriented. Therefore, there are four types of basic DEA models: CRS/Input, CRS/Output, VRS/Input and VRS/Output (Banker, Chames and Cooper 1984).

2.3 The CRS (constant returns to scale) model

The CRS model presented in equation 1 aims at minimizing input consumption by making the set level of production remain at least the same.

$$\begin{aligned}
 \max \quad & h_o = \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} \\
 \text{subject to} \quad & \\
 & \sum_{i=1}^r v_i x_{io} = 1 \\
 & \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} \leq 1, \quad k = 1, \dots, n \\
 & u_j, v_i \geq 0 \quad \forall i, j
 \end{aligned} \tag{1}$$

This mathematical formulation is known as Multipliers Model, because its decision variables are the weights u_j and v_i , and they are input-oriented (Mello et al., 2005).

2.4 The VRS (Variable Returns to Scale) model

The BCC model, also called VRS (variable returns to scale), considers production efficiency situations with scale variation and does not assume proportionality between inputs and outputs. The model obliges the frontier to be convex and allows DMUs which operate with low input values, to have increasing scale returns, and those that operate with high values to have decreasing scale returns (Banker et al., 1984). The Envelopment Model, which is input-oriented, is expressed by equation 2 as follows:

$$\begin{aligned}
 \text{Max } Eff_0 &= \sum_{j=1}^s u_j y_{jo} + u_* \\
 \text{subject to} \quad & \\
 & \sum_{i=1}^r v_i x_{io} = 1 \\
 & \sum_{j=1}^s u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^r v_i x_{ik} + u_* \leq 0, \forall k \\
 & v_i, u_j \geq 0, u_* \in \mathcal{R}
 \end{aligned} \tag{2}$$

In the multipliers models of input-oriented variable yields, one adds the dual variables u_i and v_r , which are connected to a convexity condition. DEA identifies efficient DMUs, and also allows measuring and locating inefficiency and assessing the linear production function in parts, which provides benchmark to inefficient DMUs.

2.5 Standard, inverse, composite and normalized composite efficiencies in the VRS model

The inverted frontier concept was initially used by Yamada et al. (1994) and Entani et al. (2002). The inverted frontier model allows identifying falsely efficient DMUs in the VRS model. VRS model is more comprehensive than CRS model in its reach of efficient DMUs, which can be actually false efficiencies (Yamada et al., 1994, Lima, 2018; Soares de Mello et al., 2005).

Therefore, the composite efficiency introduced by Angulo-Meza et al. (2005), is a combination of classic and inverted efficiency (Barreto and Soares de Mello, 2012; Tschaffon et al., 2014), as shown in equation 3:

$$\text{Composite Efficiency} = \frac{\text{Classic Efficiency} + (1 - \text{Inverted Efficiency})}{2} \quad (3)$$

The normalized composite efficiency, in turn, is obtained by dividing the composite efficiency value by the greatest value among all composite efficiency values, as per equation 4:

$$\text{Normalized Composite Efficiency} = \frac{\text{Composite Efficiency}}{\text{Maximum(Composite Efficiency)}} \quad (4)$$

In the present study, we have used the following models: input-oriented CRS with standard efficiency calculation, and input-oriented VRS, using the techniques of standard, inverse, composite and normalized composite efficiencies, as well as the benchmark ranking of efficient DMUs (Adler et al., 2002).

3 | RESULTS AND DISCUSSION

Results contained in Table 3 show the behaviour of statistic variations in decision-making units (DMUs) used to process information in the data envelopment analysis (DEA).

Variables	Year	Mean	Standard Deviation	Maximum / Municipality	Minimum / Municipality
X1-Energy Consumption (MWh)	2014	45,901	119,098	732,460 / Rio Verde	2,752 / Diorama
	2016	46,722	118,288	729,927 / Rio Verde	2,967 / Uirapuru
X2-Water Consumption (m³/year)	2014	911.46	1957.943	9473.64 / Rio Verde	56.02 / Baliza
	2016	842.41	1699.008	9254.00 / Rio Verde	58.37 / Baliza

X3-Cleared Area (km ²)	2014 2016	7,060 5,843	10,124 7,547	38,804 / Crixas 29,530 / Mineiros	0.042 / Castelândia 0.030 / Maurilândia
Y1-Per capita GDP (\$)	2014 2016	6.75 7.96	4586.59 6158.13	24267.99/ Perolândia 32525.66/ Perolândia	2453.26/ Aragarças 2627.15/ Aragarças
Y2-Overall IDM	2014 2016	4.837 4.831	0.429 0.411	5.910 / Chapadão do Céu 5.660 /Aparecida do Rio Doce	3.550 / Baliza 3.480 / Baliza

Table 3 Descriptive statistics for the assessed years.

Source: Elaborated by the authors.

In Table 3 it is possible to verify that between 2014 and 2016 there was an increase of 1.78% in the assessed municipalities' mean energy consumption. According with CBCS (2019), in Brazil buildings project high electric energy consumption. Chiu et al. (2012) suggest that expenses can be expressively amortized with practices of efficiency measures.

In analyzing the mean water consumption, we observe that there was a non-significant reduction of 7.57% in the year 2006, as shown in Table 3. As regards the deforestation variable, there was a decrease of 17.23%. This is an important input with great influence on the preservation and conservation of the Araguaia River's headwaters and drainage basin. Environmental variables are variables external to the production technique, which can also affect resource use and availability (Takundwa et al., 2017).

3.1 CRS (Constant Returns to Scale) results of 2014 and 2016

It is possible, moreover, to see efficiency scores for each DMU (Fig. 2 and Fig. 3), as well as DMUs that presented inefficiency in the input-oriented CRS model. In this model the proportionality principle is applied and any variation in inputs implies the proportional variation of outputs (Tschaffon and Meza, 2014).

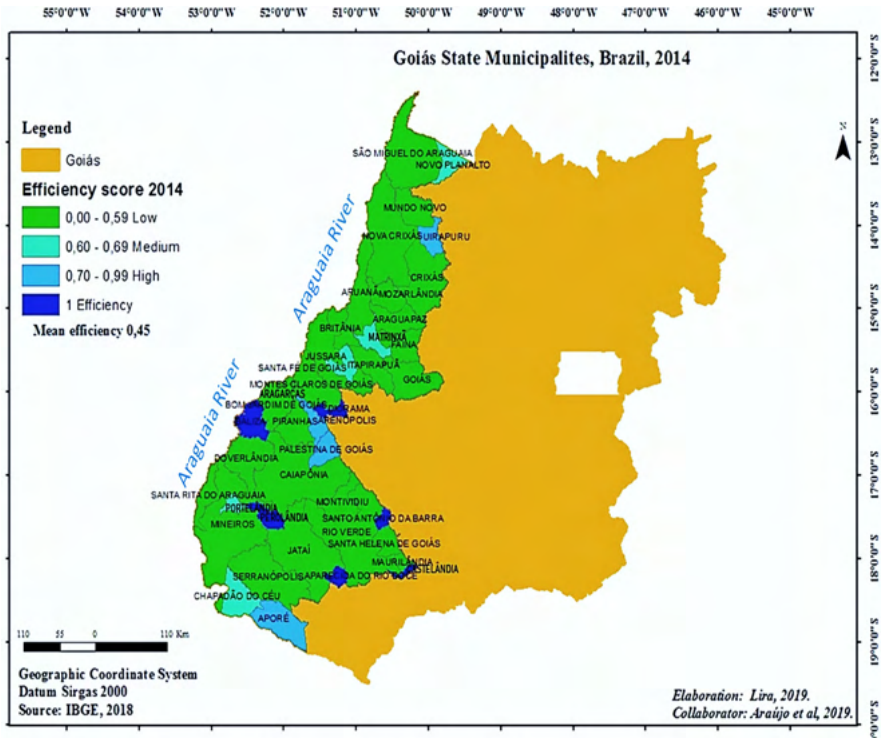


Fig. 2. Efficiency scores for each DMU in the year 2014 – input-oriented CRS model.

Source: Authors of the present study.

In assessing the input-oriented CRS model standard efficiency in 2014 (Fig. 2), and following the proportionality principle, in which any variation in inputs brings about a proportional output variation (Tschaffon and Meza, 2014), we observe that among cities with the environmental efficiency of 1, which totaled 14.63% of municipalities, the following DMUs stood out: *Aparecida do Rio Doce*, *Baliza*, *Castelândia*, *Diorama*, *Perolândia* and *Santo Antônio da Barra*. These DMUs work on constant scale returns (CRS) in activities. Efficiency results are important for allocating resources and for releases in environmental mitigation or recovery actions (Adeyemi, 2018; Benito, et al., 2010). Efficient cities showed an adequate use of resources, lower environmental impacts, better social conditions and guarantee of economic growth and development (Piña et al., 2016).

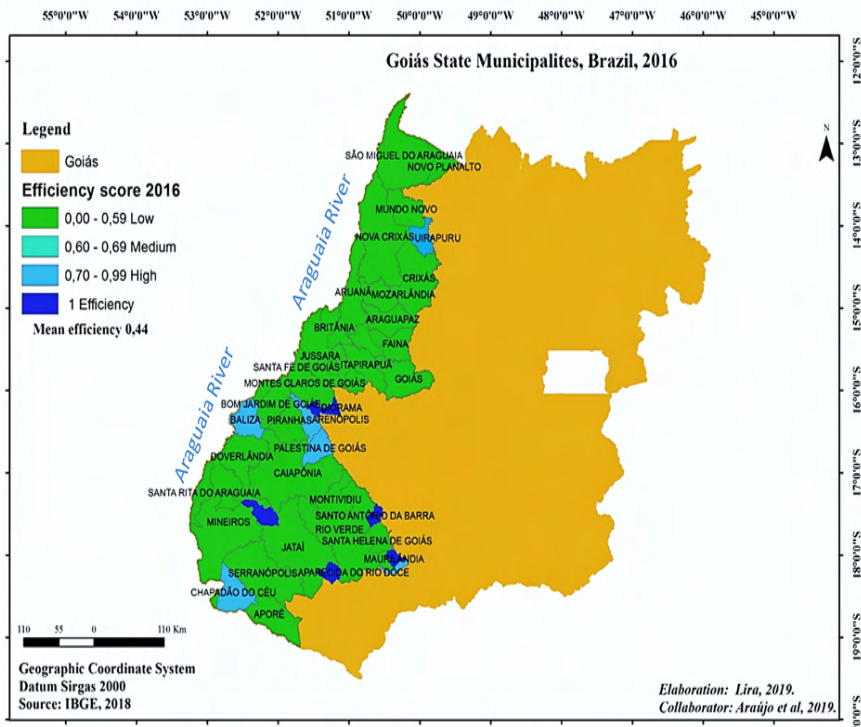


Fig. 3. Efficiency scores for each DMU in the year 2016 – input-oriented CRS model.

Source: Authors of the present work.

It was found that in 2016, municipalities with efficient results (Fig. 3) for this same model and interval were *Aparecida do Rio Doce*, *Diorama*, *Maurilândia*, *Perolândia* and *Santo Antônio da Barra*, which represented only 12.19% of the total of DMUs. It is worth highlighting that those were practically the same municipalities of 2014, with the exception of *Maurilândia*. Similar studies have shown the environmental efficiency of municipalities such as those found in the research of Wu et al. (2016).

Efficiencies achieved by reason of the low consumption of water, energy and deforestation reduction resulted in an increase of GDP and IDM, where the *Perolândia* municipality stood out with a GDP rise of 34.02% from 2014 to 2016. This growth is related to the cattle raising, farming, chalk extraction, ethanol production and cotton processing performances (IBGE, 2019). The environmental analysis has made it clear, once more, that it is possible to make more with less.

The 0.000 to 0.5999 interval (classified as low) accounted for the highest number of inefficient municipalities (Fig. 2 and Fig. 3), with 65.85% of inefficient decision-making units in 2014 increasing to 73.17% in 2016. It is worth highlighting that the *Mineiros* municipality (located in the Araguaia River headwaters), as well as touristic cities, are included in the interval. Variation in high and low efficiency correlations were found by Lee et al. (2014) for

the world's main port cities.

Overall, in the CRS model we identified a mean efficiency of 0.45 in the year 2014 and 0.44 in 2016, values considered low for the 41 municipalities of the Araguaia Valley. These results indicate that environmental efficiencies can increase by 55% through a better use of available resources. This can be achieved by minimizing specific inputs of each municipality, including deforestation rate reduction, and lower water and energy consumption.

3.2 Benchmarks: CRS model efficiency

As regards ranking, data envelopment analysis (DEA) mathematical models select automatically weights that are more adequate for each DMU and do not recognize inferiorly adequate weights, attributing weight zero to them (Coelli et al., 1998; Lins and Meza, 2000; Macedo et al., 2011).

Ranking	Inhabitants	Benchmarks (quantity of references)
DMU_14 Diorama	2,546	26
DMU_31 Perolândia	2,950	22
DMU_1 Aparecida do Rio Doce	2,427	14
DMU_11 Castelândia	3,626	12
DMU_7 Baliza	3,714	8
DMU_38 Santo Antônio da Barra	4,430	1

Table 4 Ranking of the most efficient DMUs in 2014.

Source: Elaborated by the authors.

We observe in Table 4 that by the ranking of the most efficient DMUs, Diorama was a benchmark for 26 DMUs. However, this municipality is on the efficiency frontier. This DMU's ideal performance can be considered a goal for inefficient DMUs (Sebt et al., 2018; Rocha et al., 2015).

In relation to benchmarks in the input-oriented CRS model in 2016, DMUs that were references for the others are highlighted in Table 5. Similar results were obtained by Dariush (2015) by classifying efficient DMUs on the basis of cross efficiency methods and hierarchy process.

Ranking	Inhabitants	Benchmarks (quantity of references)
DMU_14 Diorama	2,546	31
DMU_31 Perolândia	2,950	21
DMU_1 Aparecida do Rio Doce	2,427	14

DMU_38	Santo Antônio da Barra	4,430	5
DMU_22	Maurilândia	13,170	1

Table 5 Ranking of the most efficient DMUs in 2016

Source: Elaborated by the authors.

It was found by the most efficient DMUs' ranking that the Diorama municipality was a benchmark for 31 DMUs in 2016 by virtue of a better use and optimization of its resources. According with IBGE (2019), its projected population for 2016 was 2,546 inhabitants, its area reaches 687,348 km², its economy is namely based on cattle raising and farming, and it stands out in tourism with its rainfalls and rivers. Though DMU 22 showed lower benchmark for a sole municipality, it nonetheless deforested less in the analyzed period. Similar benchmark classification studies have been done by Min (2006) and Sebt et al. (2018). Conversely, inefficient municipalities should adopt policies and techniques related to their benchmarks to become efficient.

3.3 VRS model efficiency and normalized composite efficiency in 2014 and 2016

Results presented in Table 6 show that nine municipalities achieved environmental efficiency with a percentage of 21.95% of the total of DMUs, while 32 reached inefficiency in the year 2014. The model used was variable return to scale (VRS), in which DMUs with lower levels of input or higher levels of output are classified as efficient (Cooper et al., 2000). On the basis of the previous information, it is highlighted in Table 6 that the *Aparecida do Rio Doce*, *Baliza*, *Castelândia*, *Diorama*, *Perolândia* and *Santo Antônio da Barra* municipalities were efficient in the CRS model and also efficient in the VRS model in 2014. However, other three municipalities (*Aporé*, *Arenópolis* and *Chapadão do Céu*) stopped being inefficient in the VRS model, which suggests that the assessed DMUs had variable scale returns, forming a convex frontier where there was no proportionality between inputs and outputs (Mello et al., 2008; Tschaffon and Meza, 2014).

Results of 2016 showed that the level of environmental efficiency remained the same as that in 2014. It was however different in some municipalities, in that nine DMUs were efficient reaching 21.95 % of the total of DMUs. Those municipalities were the following: *Aparecida do Rio Doce*, *Baliza*, *Castelândia*, *Chapadão do Céu*, *Diorama*, *Maurilândia*, *Perolândia*, *Santo Antônio da Barra* and *Uirapuru*. It is worth highlighting that results were based on the standard model, however, according with the DEA technology, and using the input-oriented VRS model, VRS efficiencies are higher or equal to CRS efficiencies, as mentioned by Lacko et al. (2018). However, as we have verified, the level of efficiency increases when the VRS model is used. This is in accordance with the found by Rodrigues et al. (2017).

DMUs	Std	Inv	Comp	Nor Comp.	DMUs	Std	Inv	Comp	Nor Comp.
Aparecida do Rio Doce	1.00	0.01	0.99	0.99	Maurilândia	0.26	0.31	0.47	0.47
Aporé	1.00	0.02	0.98	0.99	Mineiros	0.02	1.00	0.01	0.01
Aragarças	0.18	1.00	0.09	0.09	Montes Claros	0.34	0.05	0.64	0.65
Araguapaz	0.32	0.74	0.28	0.29	Montividiu	0.49	0.06	0.71	0.72
Arenópolis	1.00	0.05	0.97	0.98	Mozarlândia	0.20	0.12	0.54	0.55
Aruanã	0.16	0.36	0.39	0.40	Mundo Novo	0.47	0.20	0.63	0.64
Baliza	1.00	1.00	0.50	0.50	Nova Crixás	0.18	0.47	0.35	0.35
Bom Jardim de Goiás	0.30	0.34	0.48	0.48	Novo Planalto	0.66	0.42	0.61	0.62
Britânia	0.45	0.24	0.60	0.61	Palestina de Goiás	0.84	0.13	0.85	0.86
Caiapônia	0.13	1.00	0.06	0.07	Perolândia	1.00	0.06	0.96	0.98
Castelândia	1.00	0.04	0.97	0.99	Piranhas	0.18	0.14	0.52	0.52
Chapadão do Céu	1.00	0.07	0.96	0.97	Portelândia	0.66	0.02	0.81	0.82
Crixás	0.14	1.00	0.07	0.07	Rio Verde	0.08	1.00	0.04	0.04
Diorama	1.00	0.04	0.97	0.98	Santa Fé de Goiás	0.73	0.03	0.84	0.86
Doverlândia	0.28	0.57	0.35	0.36	Santa Helena de Goiás	0.61	0.38	0.61	0.62
Faina	0.41	0.63	0.38	0.39	Santa Rita do Araguaia	0.31	0.19	0.55	0.56
Goiás	0.08	0.54	0.26	0.27	Santo Antônio da Barra	1.00	0.02	0.98	1.00
Itapirapuã	0.37	0.09	0.63	0.64	São Miguel do Araguaia	0.09	1.00	0.04	0.05
Jataí	0.06	0.53	0.26	0.26	Serranópolis	0.30	0.16	0.57	0.57
Jussara	0.12	0.23	0.44	0.45	Uirapuru	0.96	0.46	0.75	0.76
Matrinchã	0.65	0.09	0.78	0.79					

Table 6 Efficiency of the VRS model for the year 2014.

*Std. = standard; *Inv. = inverted; *Comp. = composite; *Nor comp. = normalized composite.

Source: Elaborated by the authors.

With the aim of increasing discrimination between the assessed DMUs, we proceeded with the calculation of inverted frontier to identify municipalities showing the worst environmental management practices. In comparing the standard efficiency technique

with the normalized composite (Table 6), we saw that the municipality of *Santo Antônio da Barra* achieved efficiency and presented the best performance. In the DEA method, this normalization is used to increase discrimination between compared units (Yamada et al., 1994; Entani et al., 2002).

DMUs	Std	Inv	Comp	Nor Comp	DMUs	Std	Inv	Comp	Nor Comp
Aparecida do Rio Doce	1.00	0.01	0.99	0.99	Maurilândia	1.00	0.45	0.77	0.78
Aporé	0.53	0.04	0.74	0.75	Mineiros	0.02	1.00	0.01	0.01
Aragarças	0.19	1.00	0.19	0.19	Montes Claros	0.33	0.07	0.62	0.63
Araguapaz	0.33	0.94	0.19	0.19	Montividiu	0.25	0.06	0.59	0.59
Arenópolis	0.98	0.07	0.95	0.96	Mozarlândia	0.20	0.13	0.53	0.53
Aruanã	0.16	0.64	0.25	0.26	Mundo Novo	0.47	0.25	0.61	0.62
Baliza	1.00	1.00	0.50	0.50	Nova Crixás	0.16	0.75	0.20	0.20
Bom Jardim de Goiás	0.31	0.86	0.22	0.23	Novo Planalto	0.64	0.25	0.69	0.70
Britânia	0.45	0.21	0.61	0.62	Palestina de Goiás	0.84	0.10	0.87	0.88
Caiapônia	0.13	0.97	0.08	0.08	Perolândia	1.00	0.02	0.98	1.00
Castelândia	1.00	0.03	0.98	0.99	Piranhas	0.16	0.18	0.49	0.49
Chapadão do Céu	1.00	0.11	0.94	0.95	Portelândia	0.59	0.04	0.77	0.78
Crixás	0.13	1.00	0.06	0.06	Rio Verde	0.03	1.00	0.01	0.01
Diorama	1.00	0.05	0.97	0.98	Santa Fé de Goiás	0.47	0.05	0.71	0.71
Doverlândia	0.28	0.27	0.50	0.51	Santa Helena de Goiás	0.43	0.40	0.51	0.52
Faina	0.37	1.00	0.18	0.18	Santa Rita do Araguaia	0.39	0.18	0.60	0.61
Goiás	0.09	0.64	0.22	0.22	Santo Antônio da Barra	1.00	0.03	0.98	0.99
Itapirapuã	0.30	0.12	0.58	0.59	São Miguel do Araguaia	0.11	0.34	0.38	0.38
Jataí	0.02	0.59	0.21	0.21	Serranópolis	0.32	0.18	0.56	0.57
Jussara	0.12	0.31	0.40	0.40	Uirapuru	1.00	0.77	0.61	0.61
Matrinchã	0.33	0.17	0.58	0.58					

Table 7 Efficiency with variable returns to scale for 2016.

*Std.=standard, *Inv.=inverted, *Comp.=composite, *Nor Comp.= normalized composite.

Source: Elaborated by the authors.

According with Table 7, the municipality of *Perolândia* has high normalized efficiency. In comparing DMUs with maximum standard efficiency indicators with those of minimum indicators, the importance of pondering the normalized efficiency becomes evident.

Steffanello et al. (2009) emphasize that this index is determined as an analogy between each unit's composite efficiency and the most efficient unit's composite efficiency. This could be verified with DMU 7 (*Baliza* municipality), which normalized efficiency was 0.50; it became inefficient with normalization. The same occurred with the municipalities of *Castelândia*, *Chapadão do Céu*, *Diorama*, *Maurilândia* and *Uirapuru*, which had a standard efficiency of 1 and normalized efficiency with values below 1. This confirms that the normalized composite frontiers will commonly better discriminate DMUs (Yamada et al., 1994; Entani et al., 2002; Pimenta et al., 2005; Almeida et al., 2007).

The 41 municipalities mean in the Variable Returns to Scale model was 0.51 for standard environmental efficiency and 0.58 for normalized environmental efficiency (year 2014), and standard environmental efficiency of 0.47 and normalized environmental efficiency of 0.54 (year 2016), which are means considered low and decreasing in the ranking order.

3.4 Benchmarks - Efficiency with variable returns to scale (2014/2016)

As regards benchmarks in the input-oriented VRS model, we highlight in Table 8, DMUs that were references for the others in the year 2014 using VRS.

DMUs	Ranking	Inhabitants	Benchmarks (quantity of references)
DMU_14	Aparecida do Rio Doce	2,427	24
DMU_1	Aporé	3,803	17
DMU_31	Arenópolis	3,011	14
DMU_7	Baliza	3,714	7
DMU_11	Castelândia	3,626	6
DMU_12	Chapadão do Céu	8,138	5
DMU_38	Diorama	2,546	4
DMU_5	Perolândia	2,950	2
DMU_2	Santo Antônio da Barra	4,430	0

Table 8 Ranking of the most efficient DMUs in the standard model (2014)

Source: Elaborated by the authors.

The more a DMU is used as benchmark, the more it will be considered a unit with optimal performance for the others. In this context, the *Aparecida do Rio Doce* municipality was benchmark for 24 DMUs, reaching maximum reference by 58.53%. Similarly, results obtained by Gomes et al. (2015) when analyzing benchmarks in municipalities with animal production systems, showed that the two more referenced possessed significant levels of revenue. Table 9 contains efficient DMUs' ranking results for the year 2016.

DMUs	Ranking	Inhabitants	Benchmarks (quantity of references)
DMU_14	Diorama	2,546	28
DMU_31	Perolândia	2,950	17
DMU_1	Aparecida do Rio Doce	2,427	16
DMU_7	Baliza	3,714	10
DMU_11	Castelândia	3,626	6
DMU_41	Uirapuru	2,973	5
DMU_38	Santo Antônio da Barra	4,430	4
DMU_12	Chapadão do Céu	8,138	1
DMU_22	Maurilândia	13,170	1

Table 9 Ranking of the most efficient DMUs in the standard model (2016).

Source: Elaborated by the authors.

We found that the *Diorama* municipality was a benchmark for 28 DMUs, with maximum reference of 68.29%. On the other hand, the *Chapadão do Céu* and *Maurilândia* municipalities were references for only 1 DMU (Table 9). Furthermore, they were the last in the ranking of most efficient municipalities. The environmental efficiency benchmark can be useful in the definition of public policies to preserve and conserve natural resources in relation to the resource investment (input and production). Environmental efficiency can act as an early warning or performance benchmark, providing better strategies for diverse areas, such as management, technology, social, environmental and economic (Othman et al., 2016; Wojcik et al., 2018).

4 | CONCLUSIONS

Results for the CRS model showed low standard environmental mean efficiency, 0.45 in 2014 and 0.44 in 2016. In the VRS model the result was 0.51 for standard environmental efficiency and 0.58 for normalized environmental efficiency (year 2014), and standard environmental efficiency of 0.47 with normalized environmental efficiency of 0.54 (year 2016). This suggests the need of effective governance, with environmental planning and well-established mechanisms and goals to achieve the desirable environmental efficiency that optimize water and energy consumption, and deforestation reduction, increasing GDP and the Municipal Development Index (IDM).

Among efficient municipalities, *Perolândia* stood out with the highest GDP and the lowest environmental degradation between DMUs in the two assessed years, which has proved possible to do more with less resources.

The benchmarking technique was important for determining the ranking of the most efficient DMUs and municipalities that were references for the others, with *Diorama* and

Perolândia standing out among those cities.

When comparing models used, VRS showed to be the most suitable for municipalities' environmental efficiency analysis; it better discriminated DMUs' false efficiencies.

The analysis with DEA was important in measuring and assessing which municipalities generated less environmental impact, and as information source for decision-making, which enables meeting public policies' needs.

ACKNOWLEDGEMENTS

We thank and recognize the CAPES (Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel) and the CNPq (National Council for Scientific and Technological Development) for the research fellowships to Rildo Vieira de Araújo and Reginaldo Brito da Costa, respectively. We thank the Dean of Research, Postgraduation and Innovation from IFMT for the support.

REFERENCES

- Adeyemi, A.A., 2018. Efficient Frontier and Benchmarking Models for Energy Multicast in Wireless Network Coding. In: M. Matin (Ed.), *Network Coding*, IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.79377>
- Adler, N., Friedman, L., Sinuany-Stern, Z., 2002. Review of ranking methods in the data envelopment analysis context. *European Journal of Operational Research* 140, 2, 249-265. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00068-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00068-1)
- Almeida, M.R., Mariano, E.B., Rebelatto, D.A.N., 2007. Análise de eficiência dos aeroportos internacionais. (Analysis of the efficiency of international airports). *Revista Produção Online* 7, 1-17. <https://producaoonline.org.br/rpo/article/view/51/51>
- Angulo-Meza, L., Biondi Neto, L., Soares de Mello, J.C.C.B., Gomes, E.G., 2005. ISYDS - Integrated System for Decision Support (SIAD - Sistema Integrado de Apoio à Decisão): a software package for data envelopment analysis model. *Pesquisa Operacional* 25, 3, 493-503. <https://doi.org/10.1590/S0101-74382005000300011>
- Angulo-Meza, L., Mello, J.C.C.B.S., Gomes, E.G., Fernandes, A.J.S., 2007. Seleção de variáveis em DEA aplicada a uma análise do mercado de energia elétrica. (Selection of variables in DEA applied to an analysis of the electricity market). *Investigação Operacional* 27, 1, 21-36. <http://www.scielo.mec.pt/pdf/iop/v27n1/v27n1a02.pdf>
- Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W., 1984. Some models for estimating technical and scale inefficiencies in Data Envelopment Analysis. *Management Science* 30, 9, 1078-1092. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- Banker, R.D., Charnes, A., Cooper, W.W., Swarts, J., Thomas, D.A., 1989. An Introduction to Data Envelopment Analysis with Some of its Models and Their Uses. *Research in Governmental and Non-Profit Accounting* 5, 125-163.

Barreto, A.S., Soares de Mello, J.C.C.B., 2012. Benchmarks de eficiência no processamento de petróleo com produtos químicos. (Benchmarks efficiency in the processing of oil with chemicals). *Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção* 12, 4, 41-52. http://www.producao.uff.br/conteudo/rpep/volume122012/RelPesq_V12_2012_04.pdf

BDE-Goiás - Banco de Dados Estatísticos do Estado de Goiás, 2019. IMB - Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos. Secretaria de Estado da Economia. Governo de Goiás. (Goiás State Statistical Database. Mauro Borges Institute of Statistics and Socioeconomic Studies. State Secretariat for the Economy. Government of Goiás.)

Begum, I.A., Buysse, J., Alam, M.J., Van Huylenbroeck, G., 2010. Technical, allocative and economic efficiency of commercial poultry farms in Bangladesh. *Worlds Poultry Science Journal* 66, 465-476. <https://doi.org/10.1017/S0043933910000541>

Benito, B., Bastida, F., García, J.A., 2010. Explaining differences in efficiency: An application to Spanish municipalities. *Applied Economics* 42, 4, 515-528. <https://doi.org/10.1080/00036840701675560>

BRASIL, 2019. Agência Nacional de Águas (ANA). Governo cria agenda para salvar o Rio Araguaia. Secretaria de Comunicação da Presidência da República. (Government creates agenda to save the Araguaia River. Communication Secretariat of the Presidency of the Republic). <https://www.ana.gov.br/noticias-antigas/governo-cria-agenda-para-salvar-o-rio-araguaia.2019-03-14.5223487350>

Castelão, R.A., Souza, C.C., Frainer, D.M., 2016. Nivel de desenvolvimento sustentável dos municípios de Mato Grosso do Sul. (Level of sustainable development in the municipalities of Mato Grosso do Sul). *Revista GeoPantanal* 11, 20, 93-104. <https://periodicos.ufms.br/index.php/revgeo/article/view/1956/2304>

CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, 2019. Eficiência Energética. (Brazilian Council for Sustainable Construction. Energy Efficiency). http://cidadeseeficientes.cbcs.org.br/?page_id=484.

Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., 1978. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research* 2, 429-444. <https://personal.utdallas.edu/~ryoung/phdseminar/CCR1978.pdf>

Chiu, C.R., Liou, J.L., Wu, P.I., Fang, C.L., 2012. Decomposition of the environmental inefficiency of the meta-frontier with undesirable output. *Energy Economics* 34, 5, 1392-1399. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2012.06.003>

Coelli, T.J., Prasada Rao, D.S., Battese, G.E., 1998. *An introduction to efficiency and productivity analysis*. Massachusetts: Kluwer Academic Publishers Group.

Cooper, W.W., Seiford, L.M., Tone, K., 2000. *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software*. London: Kluwer Academic Publishers.

Dariush, A., 2014. Ranking All DEA-Efficient DMUs Based on Cross Efficiency and Analytic Hierarchy Process Methods. *Journal of Optimization* 2015: 594727. <https://doi.org/10.1155/2015/594727>

Debreau, G., 1951. The coefficient of resource utilization. *Econometrica* 19, 3, 273-290. <https://doi.org/10.2307/1906814>

Entani, T., Maeda, Y., Tanaka, H., 2002. Dual models of interval DEA and its extension to interval data. *European Journal of Operational Research* 136, 1, 32-45. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00055-8](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00055-8)

Farrell, M.J., 1957. The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society Series A* 120, 3, 253-290. <https://doi.org/10.2307/2343100>

Ferreira, C.M.C., GOMES, A.P., 2009. *Introdução à análise envoltória de dados: teoria, modelos e aplicações*. (Introduction to data envelopment analysis: theory, models and applications). Viçosa: Editora UFV, 389p.

Gomes, E.G., Abreu, U.G.P., Mello, J.C.C.B.S., Carvalho, T.B., Zen, S., 2015. Economic and socio-environmental performance assessment of beef cattle production systems: a data envelopment analysis (DEA) approach with weight restrictions. *Revista Brasileira de Zootecnia* 44, 6, 219-225. <https://doi.org/10.1590/S1806-92902015000600004>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2019. (Brazilian Institute of Geography and Statistics). <http://www.cidades.ibge.gov.br/> IMB - Instituto Mauro Borges de Estatísticas e Estudos Socioeconômicos (2019). PIB de Goiás cresce acima da média nacional no primeiro trimestre. Comunicação Secretaria da Economia de Goiás. (Goiás's GDP grows above the national average in the first quarter. Communication Secretariat of Economy of Goiás). <http://www.goias.gov.br/noticias/43-economia/65684-pib-degoi%C3%A1s-cresce-acima-da-m%C3%A9dia-nacional-no-primeirotrimestre%E2%80%8B.html>. Accessed 11 March 2019.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2018. Detecção de Desmatamento em Tempo Real. (Deforestation Detection in Real Time). DETER 2018. Data available in: <http://terrabrasiis.dpi.inpe.br/>

Koopmans, T.C., 1951. An analysis of production as an efficient combination of activities. In: T.C. Koopmans (Ed.), *Activity Analysis of Production and Allocation*. New York: John-Wiley and Sons, Inc.

Lacko, R., Hajduová, Z., 2018. Determinants of Environmental Efficiency of the EU Countries Using Two-Step DEA Approach. *Sustainability* 10, 10, 3525. <https://doi.org/10.3390/su10103525>

Lee, T., Yeo, G.T., Thai, V.V., 2014. Environmental efficiency analysis of port cities: Slacks-based measure data envelopment analysis approach. *Transport Policy* 33, 82-88. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.02.009>

Li, H., Fang, K., Yang, W., Wang, D., Hong, X., 2013. Regional environmental efficiency evaluation in China: Analysis based on the Super-SBM model with undesirable outputs. *Mathematical and Computer Modelling* 58, 5-6, 1018-1031. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2012.09.007>

Lima, V.A.M.O., Souza, C.C., Reis Neto, J.F., Frainer, D.M., 2018. Análise das eficiências ambiental, econômica e social de assentamentos rurais em Mato Grosso do Sul (MS) através de Análise Envoltória de Dados (DEA). (Analysis of environmental, economic and social efficiencies of rural settlements in Mato Grosso do Sul (MS) through Data Envelopment Analysis (DEA)). *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* 9, 4, 41-55. <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2018.004.0004>

Lins, M.P.E., Moreira, M.C.B., 2000. Implementação com Seleção de Variáveis em Modelos de DEA. (Implementation with Selection of Variables in DEA Models). In: M.P.E. Lins and L. Angulo-Meza (Ed.) *Análise Envoltória de Dados e Perspectivas de Integração no Ambiente de Apoio à Decisão*. (Data Envelopment Analysis and Integration Perspectives in the Decision Support Environment). Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ.

- Macedo, M.Á.S., Cruz, C.F., Ferreira, A.C.S., 2011. Índice de Desenvolvimento Sustentável: uma análise apoiada em DEA para os municípios do Estado do Rio de Janeiro. (Sustainable Development Index: an analysis supported by DEA for the municipalities of the State of Rio de Janeiro). *Gestão & Regionalidade* 27, 81, 19-31. <https://doi.org/10.13037/gr.vol27n81.1108>
- Mello, J.C.C.B.S., Angulo-Meza, L., Gomes, E.G., Biondi Neto, L., 2008. Estudo não paramétrico da relação entre consumo de energia, renda e temperatura. (Non-parametric study of the relationship between energy consumption, income and temperature). *IEEE Latin America Transactions* 6, 2, 153-161. <https://doi.org/10.1109/TLA.2008.4609912>
- Mello, J.C.C.B.S., Angulo-Meza, L., Gomes, E.G., Biondi Neto, L., 2005. Curso de análise envoltória de dados. (Data envelopment analysis course). In: *XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional SBPO*, Gramado, p.2520-2547.
- Min, H., Joo, S.J., 2006. Benchmarking the operational efficiency of third party logistics providers using Data Envelopment Analysis. *Supply Chain Management* 11, 3, 259-265. <https://doi.org/10.1108/13598540610662167>
- Othman, F.M., Mohd-Zamil, N.A., Rasid, S.Z.A., Vakilbashi, A., Mokhber, M., 2016. Data Envelopment Analysis: A Tool of Measuring Efficiency in Banking Sector. *International Journal of Economics and Financial Issues* 6, 3, 911-916. <https://www.econjournals.com/index.php/ijefi/article/view/2246/pdf>
- Pimenta, H.L.N., Soares de Mello, J.C.C.B., 2005. Modelo DEA-Savage para análise de eficiência do parque de refino brasileiro. (DEA-Savage model for efficiency analysis of the Brazilian refining park). In: *XXXVII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional SBPO*, Gramado, p.387-397. http://www.producao.uff.br/conteudo/rpep/volume52005/RelPesq_V5_2005_05.pdf
- Piña, W.H.A., Martínez, C.I.P., 2016. Development and Urban Sustainability: An Analysis of Efficiency Using Data Envelopment Analysis. *Sustainability* 8, 2, 148. <https://doi.org/10.3390/su8020148>
- Rocha, R.T., Rebelatto, D.A.N., Camioto, F.C., 2015. Análise da eficiência de fatores nos países do BRICS a partir da aplicação da Análise por Envoltória de dados. (Analysis of factor efficiency in BRICS countries from the application of the Data Envelopment Analysis). *Revista de Administração, Contabilidade e Economia da Fundace* 6, 1, 68-128. <https://doi.org/10.13059/racef.v6i1.245>
- Rodrigues, M.V.S., Aquino, M.D., Thomaz, A.C.F., Pereira, R.F., 2017. Multicriteria Method in Data Envelopment Analysis: an application to measure the performance of the instrument of charging for water in the State of Ceará basins. *Brazilian Journal of Water Resources* 22, e8. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.011716070>
- RStudio Team, 2020. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA. <http://www.rstudio.com/>
- Sebt, M.V., Juybari, M.N., Soleymannfar, V.R., 2018. Investment projects ranking with DEA method considering feasibility study results. *International Journal of Research in Industrial Engineering* 7, 3, 320-335. <https://doi.org/10.22105/riej.2018.147016.1058>

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, 2019. Ministério do Desenvolvimento Regional. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos, Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos e Diagnóstico anual de Águas Pluviais. (National Sanitation Information System. Ministry of Regional Development. Diagnosis of Water and Sewage Services, Diagnosis of Urban Solid Waste Management and Annual Diagnosis of Rainwater). <http://www.snis.gov.br/>

Soares de Mello, J.C.C.B., Gomes, E.G., Gomes, L.F.A.M., Biondi Neto, L., Angulo-Meza, L., 2005. Avaliação do tamanho de aeroportos portugueses com relações multicritério de superação. (Evaluation of the size of Portuguese airports with multicriteria relations of overcoming). *Pesquisa Operacional* 25, 3, 313-330. <https://doi.org/10.1590/S0101-74382005000300002>

Steffanello, M., Macedo, M.A.S., Alyrio, R.D., 2009. Eficiência produtiva de unidades agropecuárias: uma aplicação do método não-paramétrico análise envoltória de dados (DEA). (Productive efficiency of agricultural units: an application of the non-parametric method of data envelopment analysis (DEA)). *Organizações Rurais e Agroindustriais* 11, 1, 40-56. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.62144>

Takundwa, R., Jowett, S., McLeod, H., Peñaloza-Ramos, M.C., 2017. The Effects of Environmental Factors on the Efficiency of Clinical Commissioning Groups in England: A Data Envelopment Analysis. *Journal of Medical Systems* 41, 97. <https://doi.org/10.1007/s10916-017-0740-5>

Thanassoulis, E., Boussofiene, A., Dyson, R.G., 1996. A comparison of data envelopment analysis and ratios as tools for performance assessment. *Omega* 24, 3, 229-244.

Tschaffon, P., Angulo-Meza, L., 2014. Assessing the efficiency of the electric energy distribution using Data Envelopment Analysis with undesirable outputs. *IEEE Latin America Transactions* 12, 6, 1027-1035. <https://doi.org/10.1109/TLA.2014.6893996>

Wojcik, V., Dyckhoff, H., Clermont, M., 2018. Is data envelopment analysis a suitable tool for performance measurement and benchmarking in non-production contexts?. *Business Research* 12, 2, 559-595. <https://doi.org/10.1007/s40685-018-0077-z>

Wu, J., Yin, P., Sun, J., Chu, J., Liang, L., 2016. Evaluating the environmental efficiency of a two-stage system with undesired outputs by a DEA approach: An interest preference perspective. *European Journal of Operational Research* 254, 3, 1047-1062. <http://dx.doi.org/10.1016%2Fj.ejor.2016.04.034>

Xiaoping, Z., Yuanfang, L., Wenjia, W., 2014. Evaluation of Urban Resource and Environmental Efficiency in China Based on the DEA Model. *Journal of Resources and Ecology* 5, 1, 011-019. <https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2014.01.002>

Yamada, Y., Matui, T., Sugiyama, M., 1994. New analysis of efficiency based on DEA. *Journal of the Operations Research Society of Japan* 37, 2, 158-167.

Zhao, S.Q., 2018. Analysis of Urban Innovation Efficiency in Guangdong-Hong Kong-Macao Greater Bay Area. *Open Journal of Business and Management* 6, 539-550. <https://doi.org/10.4236/ojbm.2018.63040>

CAPÍTULO 17

ESTRATÉGIAS SUSTENTÁVEIS DE MITIGAÇÃO E ADAPTAÇÃO AOS IMPACTOS PROVENIENTES DE AÇÕES ANTRÓPICAS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS: O COMPLEXO PORTUÁRIO DE ITAJAÍ NA FOZ DO RIO ITAJAÍ-AÇU

Data de aceite: 20/08/2021

Data de submissão: 18/08/2021

Carlos Andrés Hernández Arriagada

Brasil / PhD. em Arquitetura e Urbanismo, Pós-Doutorado (2019-2020) / pelo Instituto de Estudos Avançados da Universidade de São Paulo (IEA-USP). Pesquisador e Professor na Universidade Presbiteriana Mackenzie em Arquitetura e Urbanismo. Responsável pelo Laboratório de Estratégias Projetuais – (LABSTRATEGY FAUMACK) – www.lab-strategy.com. São Paulo - SP
<http://lattes.cnpq.br/8524575047516193>
<https://orcid.org/0000-0002-7740-4455>.

Paula von Zeska de Toledo

Arquiteta e Urbanista. Pós-graduanda como Aluna Especial (2021) da Universidade de São Paulo (FAU-USP). Pesquisadora no Laboratório de Estratégias Projetuais (LABSTRATEGY FAUMACK) – www.lab-strategy.com
Joinville – SC
<http://lattes.cnpq.br/9425772300233768>
<https://orcid.org/0000-0002-1963-2134>

Mariana Ragazzi Mendes

Graduanda no curso de Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Presbiteriana Mackenzie. Discente pesquisadora no Laboratório de Estratégias Projetuais (LABSTRATEGY FAUMACK)
www.lab-strategy.com
São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/3916449065793640>

Glauca Cristina Garcia do Santos

Mestranda Arq. Urbanismo Faculdade de Arquitetura e Urbanismo de São Paulo. São Paulo – Pesquisadora no Laboratório de Estratégias Projetuais (LABSTRATEGY FAUMACK) – www.lab-strategy.com. SP
<http://lattes.cnpq.br/8240103119006054>

Raquel Ferraz Zamboni

Graduanda no curso de Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Presbiteriana Mackenzie. Discente pesquisadora no Laboratório de Estratégias Projetuais (LABSTRATEGY FAUMACK) – www.lab-strategy.com. São Paulo – SP
<http://lattes.cnpq.br/8123610848283631>

Paulo Roberto Correa

Dr. Arq. Urbanista Universidade Presbiteriana Mackenzie. São Paulo –SP
<http://lattes.cnpq.br/8371084638138718>

Eduardo Riffo Durán

Graduando no curso de Arquitetura e Urbanismo pela Universidad de Concepción. Concepción – Chile. Discente pesquisador no Laboratório de Estratégias Projetuais (LABSTRATEGY FAUMACK)
www.lab-strategy.com
<http://lattes.cnpq.br/8487490697062688>

Nicolas Urbina

Mestrando em Arquitetura Universidad de Concepción. Concepción – Chile. Discente pesquisador no Laboratório de Estratégias Projetuais (LABSTRATEGY FAUMACK)
www.lab-strategy.com
<https://orcid.org/0000-0002-4887-0203>

Arquiteta e Urbanista. Pós-graduanda como Aluna Especial (2021)
da Universidade de São Paulo (FAU-USP)

Discente pesquisadora no Laboratório de Estratégias Projetuais
(LABSTRATEGY FAUMACK) – www.lab-strategy.com

<https://orcid.org/0000-0002-8343-5725>

RESUMO: O trabalho versa compreender na região da Foz do Rio Itajaí-Açú em Santa Catarina, as características antrópicas que contextualizam a geografia local, através do impacto ambiental. Compreendem-se os aspectos que ocasionam a elevação do nível dos oceanos, impactando aproximadamente 10% da população global. No Brasil, cerca de 50.700.000 pessoas vivem em regiões litorâneas, sendo 2.900.000 em Santa Catarina, afetando a economia local. Devido a esta fenomenologia, é de extrema importância analisar os futuros riscos que estas cidades podem sofrer frente as intempéries climáticas. Esta problemática permitiu estabelecer medidas mitigadoras que se pautam pelas instruções estabelecidas pela Associação Internacional de Cidades e Portos (AIVP) que se utilizaram dos “Objetivos de Desenvolvimento Sustentável” (ODS), como recomendações para pactos ambientais, fomentados através de estratégias como modelos propositivos para o surgimento de cenários temporais, estabelecidos pelos protocolos existentes na localidade investigada.

PALAVRAS - CHAVE: Estratégias Sustentáveis, Estratégias de Resiliência, Meio Ambiente, Ações Antrópicas.

SUSTAINABLE MITIGATION STRATEGIES AND ADAPTATION TO THE IMPACTS FROM ANTHROPOGENIC ACTIONS AND CLIMATE CHANGE: THE ITAJAÍ PORT COMPLEX AT THE MOUTH OF THE ITAJAÍ-AÇU RIVER

ABSTRACT: The work aims to understand in the region of Foz do Rio Itajaí-Açú in Santa Catarina, the anthropic characteristics that contextualize the local geography, through the environmental impact. Aspects that cause the rise in the level of the oceans, impacting approximately 10% of the global population, will be analyzed. In Brazil, about 50,700,000 people live in coastal regions, with 2,900,000 in Santa Catarina, affecting the local economy. Due to this phenomenology, it is extremely important to analyze the future risks that these cities may suffer from climate change. This problem allowed the establishment of mitigating measures that are guided by the instructions established by the International Association of Cities and Ports (AIVP) that used the “Sustainable Development Goals” (SDGs) as recommendations for environmental pacts, promoted through strategies such as propositional models for the emergence of temporal scenarios, established by existing protocols in the investigated location.

KEYWORDS: Sustainable Strategies, Resilience Strategies, Environment, Anthropogenic Actions.

1 | INTRODUÇÃO

Em 1896, Svante August Arrhenius, publicou um estudo sobre a influência do CO₂ (Dióxido de carbono) na regulação da temperatura da terra. Arrhenius afirmou que ao dobrar a quantidade de CO₂ emitida na época a temperatura global subiria entre 5 °C e 6°C e que levaríamos 3000 anos para alcançar esse patamar. Porém, Arrhenius errou e, em apenas 100 anos, já havíamos dobrado a quantidade de CO₂ emitida (STONE, 2012).

Junto com o CO₂, outros gases auxiliam no aumento da temperatura global. Conhecidos como Gases do Efeito Estufa (GEE) o CH₄ (metano), N₂O (óxido nitroso), O₃ (ozônio) e aerossóis participam dessa equação. Emitidos principalmente por ações antropogênicas, isto é, causadas por atividades humanas, os GEE estão alterando o balanço climático. Anualmente estamos emitindo cerca de 410 ppm (partes por milhão) de CO₂ e 1866 ppb (partes por bilhão) de CH₄, sendo as maiores taxas registradas nos últimos 800 mil anos (IPCC, 2021).

O sexto relatório (6º Assessment Report) do grupo 1 do Painel Internacional de Mudanças Climáticas da Organização das Nações Unidas (IPCC - ONU), publicado em agosto de 2021, aponta que atividades humanas são as principais, e as mais prováveis, causadoras do aumento médio de temperatura global bem como o aquecimento da superfície do oceano, derretimento das geleiras, elevação do nível dos mares e aumento de eventos extremos. Em 2019 atingimos 1.1°C de temperatura acima do patamar pré-industrial, com temperaturas chegando até 1.83°C em áreas habitadas.

No AR6 novos cenários climáticos foram introduzidos afim de melhorar a probabilidade frente aos cenários usados antes como os RCPs¹. Esses novos cenários são conhecidos como Shared Socioeconomic Pathways (SSPs) (tradução literal Caminhos Socioeconômicos Compartilhados) (Tabela 1) e levam em consideração fatores de desenvolvimento socioeconômicos como nível de educação, urbanização, aumento ou diminuição de riquezas e avanços tecnológicos, antes não considerados nas estimativas (RIAHI et al. 2017).

Diferente do que ocorria com os RCPs, caso os padrões de emissão mantenham-se como hoje, não é possível determinar apenas um cenário. Apesar do SSP5-8.5 seguir os mesmos níveis de emissão apresentados anteriormente no RCP 8.5, que era considerado o que ocorreria se mantivéssemos o cenário atual, as informações socioeconômicas tendem a variar (HAUSFATHER, 2018).

1 Os Caminhos de concentração representativa (RCPs) – Representative Concentration Pathways, em inglês – vão do cenário com corte total de emissão de GEE, RCP 2.6, até o cenário 8.5, conhecido como *Bussiness as usual* (na tradução literal "como de costume") onde as emissões se mantêm como estão hoje (IPCC, 2014).

Cenários	Curto prazo, 2021-2040		Médio prazo, 2041-2060		Longo prazo, 2081-2100	
	Melhor estimativa (°C)	Alcance provável (°C)	Melhor estimativa (°C)	Alcance provável (°C)	Melhor estimativa (°C)	Alcance provável (°C)
SSP1 – 1.9	1.5	1.2 – 1.7	1.6	1.2 – 2.0	1.4	1.0 – 1.8
SSP1 – 2.6	1.5	1.2 – 1.8	1.7	1.3 – 2.2	1.8	1.3 – 2.4
SSP2 – 4.5	1.5	1.2 – 1.8	2.0	1.6 – 2.5	2.7	2.1 – 3.5
SSP3 – 7.0	1.5	1.2 – 1.8	2.1	1.7 – 2.6	3.6	2.8 – 4.6
SSP5 – 8.5	1.6	1.3 – 1.9	2.4	1.9 – 3.0	4.4	3.3 – 5.7

Tabela 1: Cenários SSP e previsões de aumento de temperatura.

Fonte: Adaptado de IPCC, 2021.

Considerando o aumento de temperatura e conseqüentemente eventos extremos, começamos a pensar na faixa litorânea brasileira². Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 26,6% da população (50.734.896 pessoas) vive em regiões costeiras e são responsáveis por 30% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional (IBGE, 2010). Quando aproximado por estado, a faixa litorânea de Santa Catarina concentra 40% da população (2.901.000 pessoas) que gera 40% do PIB estadual. Por isso, é de extrema importância analisar os futuros riscos que essas cidades podem sofrer, a fim de garantir o menor impacto humano e econômico (PBMC, 2016).

Tendo em vista as questões apontadas, o território analisado será a foz do Rio Itajaí-Açu, que se conforma entre os municípios de Navegantes e Itajaí (Figura 1), na região sul do Brasil, na porção mais a norte do estado de Santa Catarina. Segundo o IBGE (IBGE C., 2021), o rio é o maior curso d'água de Santa Catarina constituindo a maior bacia do estado e abriga o complexo portuário de Itajaí, um dos maiores do Brasil. Para a compreensão do local, estão alguns pontos de destaque no território (Figura 2).



Figura 1 – Localização da foz do Rio Itajaí-Açu.

Fonte: Adaptado de IBGE, N., 2021.

² “A faixa litorânea brasileira” concentra 55% da população. Esta faixa consiste em uma largura de 200 km adentrando a partir da costa (IBGE, 2010).

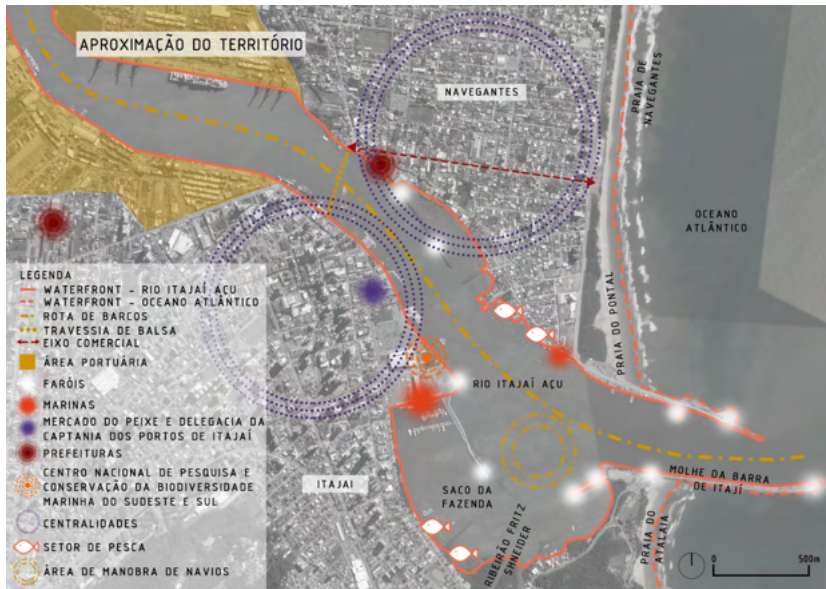


Figura 2 – Mapa de aproximação do território.

Fonte: Adaptado de Google, 2021.

A escolha do local se deve ao fato de ser uma área prioritária de conservação da Biodiversidade de acordo com o Ministério do Meio Ambiente, Ambiente, (2020), (Figura 3) fato tal que pode ser fruto das ações antrópicas por meio do estabelecimento da ocupação humana nas áreas costeiras, da atividade portuária, das atividades de pesca e do impacto advindo das mudanças climáticas.

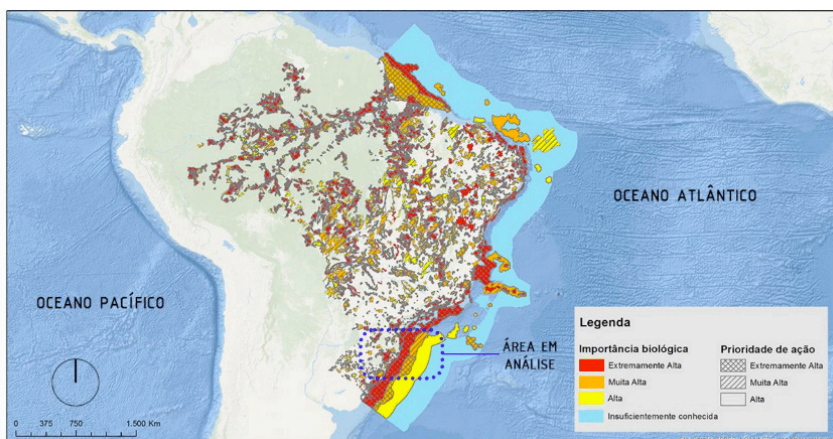


Figura 3 – Áreas e ações prioritárias para conservação, uso sustentável e repartição dos benefícios da biodiversidade brasileira.

Fonte: Adaptado de Ambiente, 2020.

2 | OBJETIVOS

A pesquisa tem como objetivo analisar a relação das mudanças climáticas e ações antrópicas no borde costeiro da região da Foz do Rio Itajaí-Açu, abordando o impacto ocasionado pela elevação do nível dos oceanos. Esta análise é subsidiada por uma avaliação entre a geografia e ocupação urbana, estabelecendo critérios de melhoria para evitar futuros desastres advindos dos impactos climáticos.

A pesquisa visa estabelecer macroestratégias como possíveis soluções para futuros protocolos litorâneos, que atendam as normativas estabelecidas pelo 6º Assessment Report do IPCC e que possibilite estabelecer uma pergunta de investigação que se definem como:

“Quais Estratégias Sustentáveis são necessárias de serem aplicadas no território investigado que possibilitem dar origem a soluções, frente as intempéries climáticas atuais que impactam os bordes costeiro?”

A pesquisa se coloca em indicar processos estratégicos para o fomento de soluções e ações espaciais categorizadas por uma determinada periodicidade. Esta característica possibilitará antever problemáticas pré-existentes, tanto nos impactos possíveis em suas geografias, quanto no meio urbano ou rural.

3 | METODOLOGIA

A metodologia se constitui na revisão bibliográfica de estudos e análises publicadas que se relacionam com o tema específico que retrata a sustentabilidade como elemento indutor estratégico para projetos urbanos em bordes de rio e zonas portuárias. Desta estrutura se estabelece e se considera o documento AIVP que aborda os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (AIVP). A investigação se constrói a partir de duas instancias norteadoras: a Identificação das características geográficas, morfológicas e funcionalidades do território a partir de visitação “In Loco”;

Avaliação de bibliografia específica de suporte:

1. Agenda AIVP de Mudanças Climáticas;
2. Análise dos dados publicados pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) da ONU;
3. Análise dos estudos do território colocado no Atlas Ambiental da Foz do Rio Itajaí-Açu, do governo do estado de Santa Catarina, Diehl (2017);
4. Elaboração de mapa de estratégias projetuais sustentáveis do local estudado, aplicando a Metodologia de Estratégias Projetuais - MEP apresentada por Hernández, 2012.

Têm-se como finalidade mapear e rever os dados atuais para a foz do Rio Itajaí-Açu, cidades de Itajaí e Navegantes, e propor possíveis medidas de mitigação para a área estudada por meio da aplicação de macroestratégias sustentáveis.

4 | HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO ANTRÓPICA

A ocupação antrópica no território é bastante antiga, sambaquis³ encontrados na região evidenciam que a presença da ação humana na foz do Rio Itajaí-Açu remonta a uma época entre os anos 3000 a.C. e 1000 a.C. Os povos que ali se encontravam, ou seja, os índios Carijós, Botocudos e Caingangues, do grupo Tapuia, hoje conhecidos como Xoklengs, eram coletores e caçadores advindos do Rio Uruguai que avançavam para o litoral catarinense. Ao longo dos anos, foi registrada também, por meio de cartas náuticas, a presença de exploradores europeus entre os séculos XVI e XVII (DIEHL, 2017). A principal preocupação dos portugueses era a ocupação das terras como forma de defesa de invasões estrangeiras, pois acreditava-se na perspectiva de exploração de minas de ouro e pedras preciosas na região, uma vez que na América espanhola a extração de ouro era grande (ITAJAÍ, 2021b).

O primeiro povoado estável do local foi São Francisco do Sul, fundado em 1658 e comandado pelo português Capitão Mor Manoel Lourenço de Andrade, vindo de São Paulo com alguns companheiros. O capitão distribuiu entre eles as terras daquela imensa região que se estendia da Vila de Paranaguá ao atual município de Porto Belo (NAVEGANTES, 2021).

Dessa forma, o território que anteriormente era ocupado por povos indígenas, no ano de 1658 passou a ser ocupado e explorado mais fortemente pelo homem branco. João Dias de Arzão foi o primeiro a adquirir uma sesmaria (segundo Houaiss, (2021), terrenos abandonados ou incultos que os reis de Portugal cediam aos novos povoadores) na região ocupando a margem norte do rio. Arzão estava interessado em minas de ouro e pedras preciosas e não tinha a intenção de formar um povoado. Se estabeleceu com sua família na margem esquerda do Rio Itajaí-Açu bem de frente para a foz do Rio Itajaí-Mirim (DIEHL, 2017). Foi a partir desse momento que a ocupação humana se inicia de forma mais intensa na foz do Rio Itajaí-Açu.

Com o crescimento do povoado, no início do século XVIII a grande atividade desenvolvida na região foi a extração de madeira (ITAJAÍ, 2021b). Entre 1818 e 1819, o jovem carioca de 25 anos Antônio Menezes Vasconcelos Drummond tomou conhecimento do grande potencial da região envolvendo a exploração de madeira, e, sinalizou a coroa de seus planos de implantar na margem direita da foz do rio um ponto estratégico para escoamento dos cortes de madeira dando origem ao complexo portuário e a um pequeno núcleo mercantilista. Foi Drummond que instalou o primeiro engenho para corte de madeira e o primeiro pequeno estaleiro, o qual construiu o primeiro barco da região (DIEHL, 2017).

Muitos açorianos foram atraídos para essas terras devido a atividade madeireira, ou pela busca de locais para montar armações para a caça de baleias⁴. A região sempre

3 Acumulação pré-histórica de conchas de moluscos marinhos, fluviais ou terrestres, realizada por populações indígenas, em que freq. se encontram ossos humanos, objetos de pedra, de chifre e mais tarde cerâmica (HOUAISS, 2021).

4 Na região as baleias encontradas são, de acordo com seus nomes comuns: Franca, Minke, Minke Antártica, Sei, de

teve uma grande vocação pesqueira, em grande parte devido a geografia, formada pelo encontro do rio com o mar, datando desde os anos de 1700, sendo que, juntamente a ela, a agricultura era também uma atividade importante (NAVEGANTES, 2021).

O grande potencial econômico motivou uma ampla corrida especulativa⁵, pessoas abastadas começaram a requerer sesmarias na região, muitas vezes burlando a lei. Nessas circunstâncias que Drummond foi autorizado por um aviso real, em 05 de janeiro de 1820 pelo Rei D. João VI para a fundação de uma colônia em duas sesmarias reais nas terras de Itajaí e, em 1820 foram derrubadas as matas nativas para dar início às plantações e construção de casas para os colonos (IBGE, I., 2021).

Foi somente em 1824, com a intensificação do comércio entre as vilas do litoral catarinense que o português Agostinho Alves Ramos, um comerciante, veio pela primeira vez se estabelecer na região e, com vistas de formar um povoado encabeçou um requerimento ao Bispo do Rio de Janeiro para a criação do Curato do Santíssimo Sacramento, ou seja, segundo Houaiss, (2021), uma aldeia paroquiada por um pároco. Com a posterior criação do curato, estava fundada Itajaí, em 31 de março de 1824 (IBGE, I., 2021).

A cidade cresceu a longo dos anos, e, como um bairro de Itajaí, Navegantes vivia um estado de abandono, o comércio não se desenvolvia, os estudos secundários não existiam, não havia assistência à saúde e as praias não recebiam investimento, cuidado e nem divulgação. A situação levou à criação de uma comissão constituída pelos líderes de tradicionais famílias de Navegantes, com o objetivo de promover a emancipação política da cidade. Tal comissão promovia debates e reuniões de esclarecimentos nas comunidades e reuniu assinaturas de populares. Com o apoio do Deputado federal Elias Adaime, redigiram um documento para solicitar a emancipação política, que foi encaminhado para a Câmara Municipal de Itajaí pelo então vereador Nilton Kucker. Dessa Forma, em 14 de maio de 1962 foi fundada a cidade de Navegantes (NAVEGANTES, 2021).

5 | COMPLEXO PORTUÁRIO E ATIVIDADE PESQUEIRA

A área em questão possui uma economia bastante ativa no século XXI, principalmente devido às atividades portuária, náutica e de pesca, tanto artesanal como industrial (Figura 4) (DIEHL, 2017).

Bryde, Jubarte, Bicuda de Blainvillei, Bicuda de Cuvier, Cachalote, Cachalote Pigmeu, Cachalote Anão. Dentre as quais, Franca, Sei, Jubarte e Cachalote estão ameaçadas (DIEHL, 2017).

5 Com caráter de especulação comercial ou financeira; que busca enganar, ludibriar, abusar da boa-fé de outrem, que se aproveita de circunstâncias favoráveis para tirar vantagens pessoais (HOUAISS, 2021).

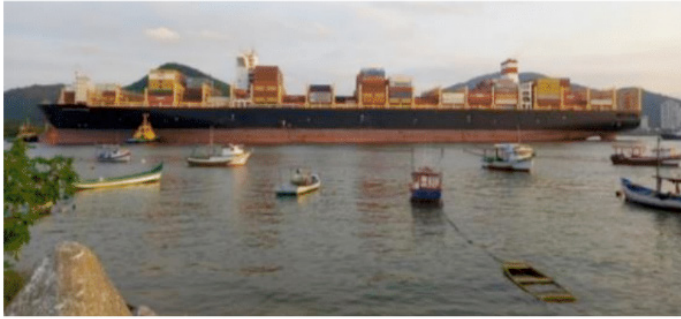


Figura 4 – Atividades econômicas na foz do Rio Itajaí-Açu – contraste entre as escalas, barcos de pesca e navio cargueiro.

Fonte: Autoral.

O complexo portuário de Itajaí é constituído pelo Portonave⁶, localizado em Navegantes e Porto de Itajaí, localizado em Itajaí (Figura 5). Segundo a Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), Brasil, (2020), esse complexo é o segundo maior em movimentação de containers nos anos de 2019 e 2020 (Figura 6), evidenciando sua grande importância.



Figura 5 – Foz do Rio Itajaí-Açu – complexo portuário.

Fonte: Adaptado de Itajaí, 2021a.

⁶ É o primeiro terminal portuário privado do Brasil. A empresa distribui a produção para as regiões sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. Além disso, recebe cargas de todo o mundo. (PORTONAVE, [s.d.])

MOVIMENTAÇÃO DE CONTAINERS NAS INSTALAÇÕES PORTUÁRIAS EM TEUS (2019 - 2020)



Figura 6 – Movimentação de containers nas instalações portuárias do Complexo de Itajaí em TEUs em 2019 e 2020.

Fonte: Adaptado de Brasil, (2020).

O início da construção portuária como conhecemos em 2021, foi em 1905 com o primeiro plano de implantação do porto (Figura 7), projetado na época para ser na praia de Cabeçadas⁷ e só foi terminar em 1982, quando todas as estruturas de retificação foram concluídas. Na década de 1910 foi iniciada a construção do molhe⁸-sul, com cerca de 700 metros, em curva, respeitando o regime do rio (DIEHL, 2017). As outras obras portuárias e o molhe-norte foram realizados posteriormente e se prolongaram até meados de 1956 (ITAJAÍ, 2021b).

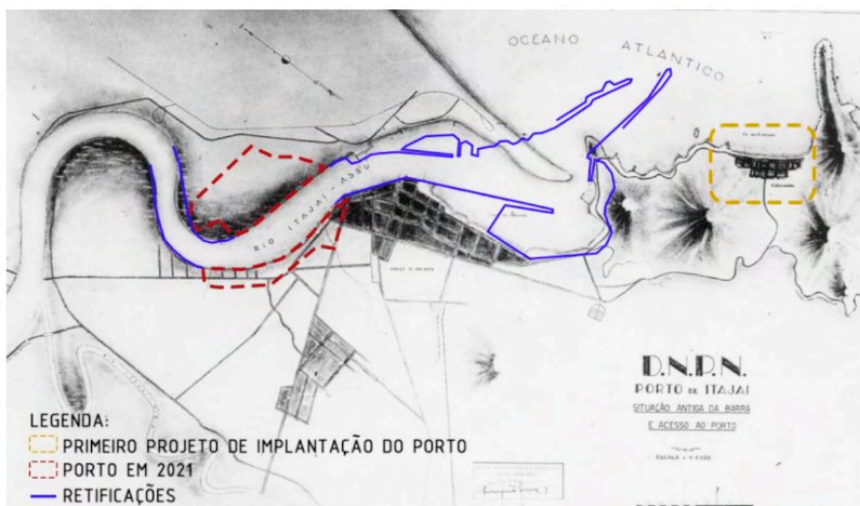


Figura 7 – Projeto de implantação dos guias-correntes na foz do rio Itajaí-Açu e a primeira localização do Porto.

Fonte: Adaptado de Itajaí, 2021a.

7 A Praia de Cabeçadas, situada a sudoeste da cidade de Itajaí, deve seu nome as pedras grandes e arredondadas como cabeças, pedras cabeçadas, ali existente (D'ÁVILA, 1992).

8 Paredão nos portos marítimos, a modo de cais, destinado a proteger das vagas do mar as embarcações, podendo dispor de berços para atracação; quebra-mar, mole (HOUAISS, 2021).

Os estaleiros⁹ ao longo do rio também merecem grande destaque, juntos formam um importante polo de indústria naval, como setor metal-mecânico, também chamado de setor metalúrgico, que segundo o Houaiss, (2021) é o ramo da engenharia que se ocupa da produção de metais e de suas ligas, se dedicam à construção de grandes barcos pesqueiros e embarcações para logística portuária, setor de óleo e gás. Esses fatores tornam a região da Foz do Rio Itajaí-Açu um dos mais importantes polos econômicos do Brasil, atraindo multinacionais de grande porte (DIEHL, 2017).

Quanto à atividade pesqueira, a região é um dos polos de pesca mais importantes de Santa Catarina, representando 90% de todo o pescado do estado. As pescas são feitas tanto de modo artesanal (Arrasto de portas e rede fixa são as mais utilizadas), sendo em sua maioria atividades informais que não possuem dados contabilizados e são praticadas o ano todo, quanto industrial ocorrendo principalmente em mar aberto e em larga escala com características comerciais, principalmente com a técnica do arrasto de portas dirigida à pesca de camarão. Os barcos de pesca ficam atracados principalmente na região do “Saco da Fazenda”¹⁰ devidamente localizado anteriormente na figura 2 (DIEHL, 2017).

Apesar da importância econômica, as atividades mencionadas acarretam diversos impactos ao meio ambiente. Segundo a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 001/86, impacto ambiental é colocado como:

“Para efeito desta Resolução, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais” (CONAMA, 1986, 001/86).

A atividade portuária, segundo Jesus (2015) é uma atividade potencialmente poluidora, pois as áreas portuárias são descaracterizadas fisicamente com a implantação do porto, processos como dragagem¹¹ ou contaminação da água por produtos químicos e óleo afetam principalmente os ecossistemas frágeis¹² que estabelecem um equilíbrio do ambiente, como é o caso dos manguezais¹³, e como consequência desse desequilíbrio nos ecossistemas, pode ocorrer o desaparecimento de espécies nativas e o aparecimento de

9 Armação de cantaria ou de madeira sobre a qual assentam as traves e a envasadura que sustam o navio quando está sendo construído; lugar onde se constroem navios (LEAL, 1992).

10 Saco da Fazenda é um corpo d'água costeiro assim denominado por ser semifechado, construído artificialmente e inserido no cenário urbano da cidade de Itajaí. Foi criado a partir do empreendimento de retificação do canal de acesso ao Porto de Itajaí. A última curvatura do estuário inferior foi isolada do canal principal, criando então o Saco da Fazenda. (SCHETTINI, 2008).

11 Ato ou efeito de dragar; limpeza, desobstrução (HOUAISS, 2021). No caso do rio, para que sua profundidade seja maior, facilitando a navegação de barcos.

12 Aqueles mais suscetíveis a sofrer com impactos ambientais adversos e com baixa resiliência. (GOMES; PEREIRA, 2011).

13 Floresta ou associação vegetal com predomínio de plantas que vivem em ambiente onde existem grandes concentrações de sais. Esse tipo de árvore pode se formar junto a praias, à foz de rios, ou na margem lamacenta de portos, rios, lagoas etc. (HOUAISS, 2021).

espécies exóticas além de mudanças no regime de escoamento dos rios¹⁴.

Quanto à atividade de pesca, os arrastões realizados pela pesca industrial, podem afetar ecossistemas inteiros prejudicando a manutenção da vida marinha, além disso, dejetos da pesca como anzóis, pedaços de rede, entre outros, e rastros de combustíveis, são deixados nos cursos d'água ameaçando muitas espécies de extinção (BORGES, et al, 2018).

Ambas as atividades contribuem também para a emissão de poluentes na atmosfera, com a queima de combustíveis pelos barcos, navios e caminhões que realizam o escoamento portuário.

6 | CENÁRIOS FUTUROS

Em vista disso, os registros das primeiras ocorrências de enchentes e deslizamentos na região do Vale do Itajaí datam do século XIX, com grandes inundações sendo relatadas nos anos de 1862, 1895 e 1911. Porém somente em 1957 a região recebeu ajuda do governo federal com um estudo de projeto para a construção de três barragens ao longo do vale bem como a retificação de parte do rio Itajaí-Mirim. Em 1963 o projeto é colocado em prática e cerca de 8 km do rio sofrem a retificação (DIEHL, 2017).

Contudo, a região continuou a sofrer com impactos de inundações e em 2008 uma grande enchente somou-se a deslizamentos e afetou toda a região do Vale. A região litorânea foi especialmente afetada, causando a remoção de 18 mil pessoas de seus domicílios. Além disso o Porto de Itajaí sofreu com danos na infraestrutura e assoreamento¹⁵ do rio, causando um prejuízo calculado em mais de 200 milhões em reparos estruturais, além da diminuição da movimentação de containers (DIEHL, 2017).

Ao considerarmos cenários climáticos futuros, podemos observar a tendência no aumento de eventos extremos como o ocorrido em 2008, bem como a elevação no nível dos oceanos. Ao fazer uso do Software online Coastal Risk Screening Tool (Ferramenta de triagem de risco costeiro) do Climate Central podemos analisar a previsão de avanço do mar nas cidades de Itajaí e Navegantes. O software permite configurar cenários por ano ou altura da elevação do mar, alterando configurações como quantidade de poluentes e probabilidade de redução dos mesmos.

Para realização do mapa da foz do Rio Itajaí Açu (Figura 8) foram usadas as configurações de RCP 8.5, considerado o que ocorrerá caso as emissões continuem como hoje, em um cenário de projeção de Kopp et al. 2017, visto como pessimista.

14 A Diagnóstico e Prognóstico do Recursos Hídricos do Estado de Santa Catarina mostra a distribuição das cheias ao longo do tempo, revelando que sua distribuição não é uniforme. Cresceu muito ao longo do século XX, tendo caído nos últimos 20 anos.

15 Acúmulo de sedimentos pelo depósito de terra, areia, argila, detritos etc., na calha de um rio, na sua foz, em uma baía, um lago etc. (HOUAISS, 2021).

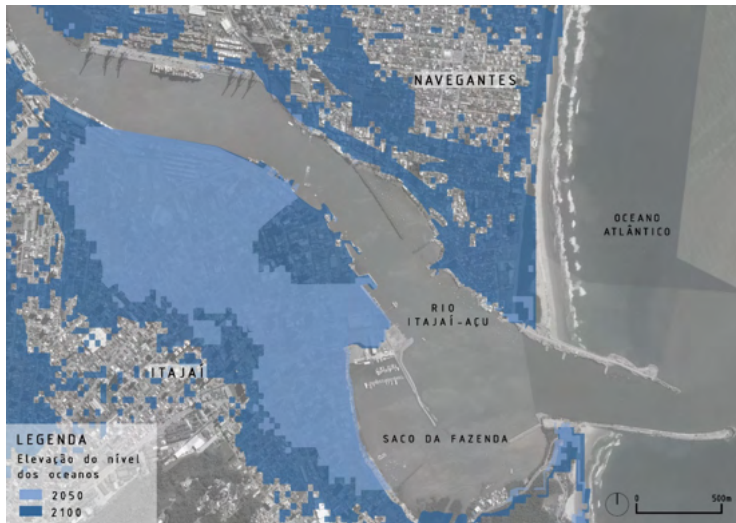


Figura 8: Elevação projetada pelo software *Coastal Risk Screening* para a foz do Rio Itajaí-Açu.

Fonte: Adaptado do Google Earth, Autores 2021.

A região também sofre com o impacto de ressacas, muitas vezes ocasionada por tempestades marinhas. Seguindo as previsões a intensidade dessas tempestades deve aumentar nos próximos anos, provocando mais riscos a região. Entre 28 e 31 de outubro de 2016, 32 cidades do litoral de Santa Catarina foram atingidas por ressacas provenientes de um ciclone extratropical¹⁶. Segundo informações do Porto de Itajaí, o nível do mar ultrapassou os 2 metros, causando o represamento do Rio Itajaí-Açu, interrompendo o funcionamento do ferryboat¹⁷ e provocando o alagamento da Avenida Beira-Rio. (PBMC, 2016)

71 RESULTADOS

A partir das análises abordadas neste trabalho foi percebida a relação de uso da Agenda 2030 proposta pela *Association Internationale Villes et Ports* (AIVP). Essa Organização Não Governamental, busca aprimorar a relação cidade-porto e, em 2015, lançou dez objetivos de desenvolvimento sustentável para cidades portuárias e os correlacionou com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (ODS)¹⁸ (PORTS, 2018).

¹⁶ Período em que os Ciclones Tropicais (TC) avançam em direção ao Pólo e penetram nos “extratropicais”, sua mudança de configuração, a nova conformação e os Ciclones extratropicais. Ele tem a capacidade de se mover mais rápido do que os ciclones normais. (MARTÍN et al., 2006)

¹⁷ Barco concebido especialmente para o transporte de veículos e respectivos passageiros entre as margens de um rio ou pequenos trechos marítimos (HOUAISS, 2021).

¹⁸ ODS, assim como a agenda 2030 foram uma consequência dos Objetivos do Milênio, que por sua vez foram decisões tomadas no ano de 2015 pela ONU que determinarão o curso global de ação para acabar com a pobreza, promover a prosperidade e o bem-estar para todos, proteger o meio ambiente e enfrentar as mudanças climáticas (ONU, 2021).

Dentre os objetivos apresentados, foram escolhidos sete que melhor se relacionam com a área da foz do Rio Itajaí-Açu e o processo de mudanças climáticas, sendo eles: 01. Adaptação a mudança climática; 02. Transição energética e energia circular; 03. Mobilidade Sustentável; 04. Governança renovável; 06. Cultura portuária e identidade; 09. Saúde e qualidade de vida; 10. Proteger a biodiversidade.

A estrutura de funcionalidade prevista e desenvolvida para a formulação dos cenários da pesquisa se organizou a partir do fomento inicial dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, com a utilização de 7 ODS e 29 subtemas: **ODS 7**, 7.1, 7.3; **ODS 9**, 9.2, 9.3, 9.4, 9.5; **ODS 11**, 11.3, 11.4, 11.5, 11.6; **ODS 12**, 12.2, 12.3, 12.4, 12.6, 12.8; **ODS 13**, 13.1, 13.2, 13.3; **ODS 14**, 14.1, 14.2, 14.3, 14.4, 14.5, 14.6, 14.7; **ODS 15**, 15.1, 15.5, 15.8, 15.9. Sendo aplicáveis no território, cujas características estão compostas por uma intensa atividade portuária, forte indústria pesqueira, aproximação do centro da cidade com a borda do rio, áreas lindeiras com construções industriais desativadas, áreas de marinas privadas, presença de molhes, casas e diversas ocupações ao longo da borda.

A partir desta análise territorial foi possível estabelecer algumas estratégias que partem das características apresentadas anteriormente, sendo: Estratégias de Sustentabilidade desenvolvidas em 4 temáticas com 12 estratégias; Estratégias de Resiliência desenvolvidas em 2 temáticas com 10 estratégias; Estratégias do AIVP desenvolvidas em 7 temáticas com 46 estratégias (Figura 9).

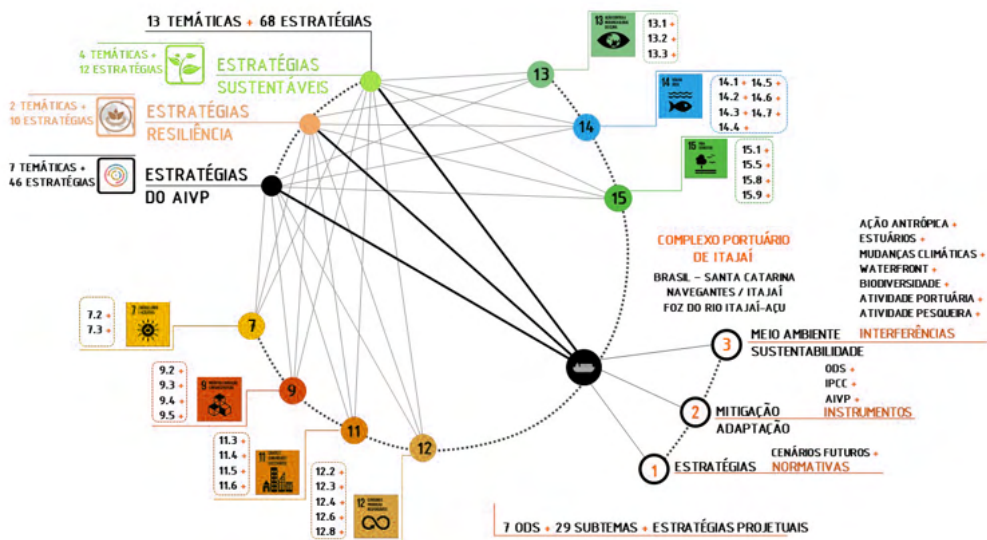


Figura 9: Diagrama estrutural da funcionalidade do desenvolvimento do artigo, ODS e estratégias em conjunto para mitigação e adaptação do território frente às mudanças climáticas.

Fonte: Adaptado de ONU, 2021; Hernández, 2021; Ports, 2018.

A aplicabilidade das estratégias é desenvolvida em faseamentos, sendo estruturada temporalmente no período de 3 anos, em decorrência comparativa da análise das ações da Defesa Civil de Santa Catarina (PBMC, 2016, p.127) no que estabelece um norteador temporal de requalificação da área. Levando a ser subdividida e tematizada conforme os núcleos abaixo e representado respectivamente (figuras 10,11 e 12):

1ª Fase (2022): a. Estratégias Sustentáveis: a1. Preservação de bens tombados; a2. Revitalização de áreas verdes através da proposição de espaços aprazíveis; a3. Amenização do impacto de gás carbônico por meio da criação de corredores verdes; a4. Planificação verde nas zonais industriais;

b. Estratégias Resilientes: b1. Política de gestão de água; b2. Fontes de vegetação usada como contenção de ondas de calor; b3. Fontes de água limpa; b.4 Política de carbono.

2ª Fase (2023): a. Estratégias Sustentáveis: a5. Reconversão urbana e revitalização de edifícios degradados para usos diversos; a6. Diversificação do uso de áreas verdes; a7. Melhoria na drenagem urbana regional, evitando inundações e outros problemas; a8. Utilização de novas tecnologias a favor de um melhor aproveitamento dos recursos naturais.

b. Estratégias Resilientes: b5. Zonas de Vegetação em áreas de córregos; b6. Áreas de amortecimento; b7. Setores de sombreamento;

3ª Fase (2024): a. Estratégias Sustentáveis: a9. Valorização de edificações emblemáticas; a10. Criação de áreas verdes através da composição de espaços aprazíveis; a11. Comprometimento do transporte marítimo com a qualidade do ar; a12. Planificação verde;

b. Estratégias Resilientes: b8. Mapeamentos e sistema de monitoramento; b9. Fontes de água alternativas; b10. Zonas de amortecimento: uso de vegetação.

1ª FASE

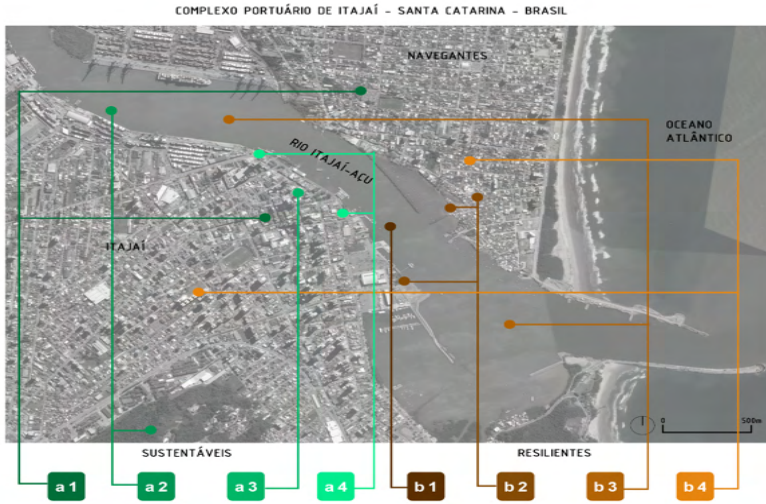


Figura 10: 1ª Fase (2022) – Foz do Rio Itajaí-Açu, Complexo Portuário, Santa Catarina.

Fonte: Adaptado de Hernández (2012).

2ª FASE



Figura 11: 2ª Fase (2023) – Foz do Rio Itajaí-Açu, Complexo Portuário, Santa Catarina.

Fonte: Adaptado de Hernández (2012).

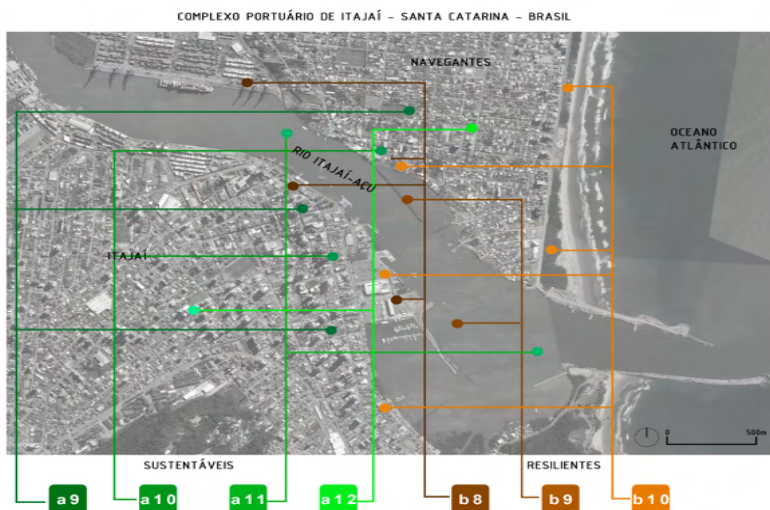


Figura 12: 3ª Fase (2024) – Foz do Rio Itajaí-Açu, Complexo Portuário, Santa Catarina.

Fonte: Adaptado de Hernández (2012).

8 | CONCLUSÃO

Afim do estabelecimento de medidas que permitam a redução dos impactos locais nas cidades de Itajaí e Navegantes, junto as suas condicionantes derivadas das variações climáticas, é necessário levar em consideração as futuras projeções e análises divulgadas por órgãos como o IPCC. O AR6, apesar de alarmante, apresenta de maneira significativa os índices de temperatura média global, as quais se encontram em uma curva ascendente, continuando a subir. Esta elevação da temperatura média global, impacta todos os ecossistemas do planeta, reduzindo drasticamente a fauna e a flora; elevando o nível médio dos oceanos e aumentando os eventos extremos, isto é, os impactos climáticos.

A região investigada apresenta características para a ampliação territorial de desenvolvimento econômico, seguindo estes aspectos ao longo da sua história. A área foi impactada através de ações exploratórias desde sua colonização. Inicialmente a busca pelo ouro, depois o processo extrativista da madeira e da agricultura, a pesca predatória de baleias, tornando-se finalmente o local para o estabelecimento de um porto escoador de produção local.

Atualmente a indústria da pesca e as duas estruturas portuárias impactam a região devido o atrativo econômico, como com ações antrópicas, que se acumularam ao longo do tempo, contribuindo com a degradação do ambiente local, bem como no desequilíbrio do planeta.

A ação efetiva só é possível com parcerias público-privadas, segundo o Relatório sobre a Lacuna de Adaptação 2020 do Programa das Nações Unidas para o Ambiente (UNEP, 2021). Ao fazer uso das ações propostas pela Defesa Civil de Santa Catarina estabelecidas em 2013 (PMBC, 2016) somadas as Estratégias Sustentáveis e de Resiliência (Hernández, 2012) como soluções metodológicas mitigadoras perante o crescimento dos impactos climáticos, surgem medidas adaptativas promotoras da redução das perdas materiais e humanas. O custo de realizar medidas adaptativas é menor do que o custo de reparo pós desastre, por este motivo, o trabalho visa a apresentação de estratégias que possam amenizar futuros impactos provenientes das mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

AMBIENTE, Ministério do Meio. **2ª Atualização das Áreas Prioritárias para Conservação da Biodiversidade 2018**. 2020. Disponível em: <http://areasprioritarias.mma.gov.br/2-atualizacao-das-areas-prioritarias>. Acesso em: 11 jun. 2021.

BORGES, Heloá; et al. **Atividade pesqueira e seus impactos no meio ambiente**. 2018. Disponível em: <https://www.bioicos.org.br/post/atividade-pesqueira-e-seus-impactos-no-meio-ambiente>. Acesso em: 10 ago. 2021.

BRASIL. **Agência Nacional De Transportes Aquaviários (ANTAQ)**. (org.). Anuário. 2020. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/ANUARIO/>. Acesso em: 20 fev. 2021.

CONAMA, **Resolução nº 1, de 23 de janeiro de 1986**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 17 fev. 1986. Seção 1, p. 2548-2549.

DIEHL, Fernando Luiz. **Atlas Ambiental do Rio Itajaí-Açu**. Itajaí: Chilicom Filmes, 2017. 300 p. ISBN: 978-85-64292-01-7. Disponível em: https://issuu.com/atlasitajai/docs/atlas_rioitajai_online-w. Acesso em: 04 ago. 2021.

GOMES, Marco Antônio Ferreira; Pereira, Lauro Charlet. **Áreas Frágeis no Brasil**: subsídios à legislação ambiental. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. Disponível em: https://www.cnpma.embrapa.br/download/documentos_87.pdf. Acesso em: 15 ago. 2021.

GOOGLE. **Google earth**. 2021. Disponível em: <https://earth.google.com/>. Acesso em: 08 ago. 2021.

HERNÁNDEZ A., Carlos Andrés. **Estratégias Projetuais no Território do Porto de Santos**. 2012. 278 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://www.lab-strategy.com/cidade-porto> Acesso em: 20 abr. 2021.

HOUAISS, Antonio. **Grande Dicionário Houaiss**. 2021. Disponível em: <https://houaiss.uol.com.br/>. Acesso em: 16 ago. 2021.

IBGE. **Catálogo**. 2021. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=446676>. Acesso em: 02 jun. 2021.

IBGE. **Itajaí**. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/itajai/historico>. Acesso em: 08 ago. 2021.

IBGE. **Navegantes**. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/navegantes/panorama>. Acesso em: 08 ago. 2021.

IPCC, 2014: Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change**. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O. et al.]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/> Acesso em: 15 abr. 2021.

IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: **IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate**. In press. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/srocc/> Acesso em: 14 Ago. 2021.

IPCC, 2021. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. In Press. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> Acesso em: 09 ago. 2021.

ITAJAÍ, Porto de. **Porto de Itajaí**. 2021a. Disponível em: <http://www.portoitajai.com.br>. Acesso em: 08 ago. 2021.

ITAJAÍ, Prefeitura de. **História**. 2021b. Disponível em: <https://itajai.sc.gov.br/c/historia#.YLdt1PIKJlU>. Acesso em: 08 ago. 2021.

HAUSFATHER, ZEKE. **Explainer**: How “Shared Socioeconomic Pathways” explore future climate change | Carbon Brief. Carbon Brief. 2018 Disponível em: <https://www.carbonbrief.org/explainer-how-shared-socioeconomic-pathways-explore-future-climate-change>. Acesso em: 11 Ago. 2021.

JESUS, Rosane Dória de. **Porto e meio ambiente**: um estudo bibliográfico sobre os principais impactos ambientais produzidos pela atividade portuária. 2015. 22 f. Monografia (Especialização) - Curso de Gestão Ambiental Portuária, Universidade Santa Cecília, Santos, 2015.

LEAL, Abinael Moraes. **Dicionário de termos náuticos, marítimos e portuários**. São Paulo: Aduaneiras, 1992.

MARTÍN, F. et al. **La tormenta tropical delta y su transición extratropical en las cercanías de canarias**. v. 29, p. 5, 2006.

NAVEGANTES, Prefeitura de. **O Município**. 2021. Disponível em: <https://www.navegantes.sc.gov.br/historia>. Acesso em: 02 jun. 2021.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 04 ago. 2021.

PBMC, 2016: **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas**: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.)]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 184 p. ISBN: 978-85-285-0345-6.

PORTONAVE. **Institucional**. Disponível em: <<https://www.portonave.com.br/pt/a-portonave/institucional/>>. Acesso em: 17 ago. 2021.

PORTS, Association Internationale Villes Et. **AIVP: agenda 2030**. agenda 2030. 2018. Disponível em: https://www.aivp.org/wp-content/uploads/2021/01/AIVP_Agenda_2030-Brochure-2020-ES.pdf. Acesso em: 18 ago. 2021.

RIAH, et al. **The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview**. Global Environmental Change, v. 42, p. 153–168, 2017. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378016300681>>. Acesso em: 11 Ago. 2021.

SCHETTINI, Carlos. **Hidrologia do Saco da Fazenda, Itajaí, Sc**. Braz. J. Aquat. Sci. Technol, [s. l], v. 1, n. 12, p. 49-58, jan. 2008.

STONE, Brian. **The city and the coming climate: climate change in the places we live**. New York: Cambridge University Press, 2012. 206 p.

UNEP, 2021. **Adaptation Gap Report 2020**. Nairobi. Disponível em: <<https://www.unep.org/pt-br/resources/relatorio-sobre-lacuna-de-adaptacao-2020>> Acesso em: 17 Ago. 2021.

SOBRE OS ORGANIZADORES

CLÉCIO DANILO DIAS DA SILVA - Doutorando em Sistemática e Evolução pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Mestre em Ensino de Ciências Naturais e Matemática pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Especialista em Ensino de Ciências Naturais e Matemática pelo Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN). Especialista em Educação Ambiental e Geografia do Semiárido pelo Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN). Especialista em Tecnologias e Educação a Distância pela Faculdade São Luís (FSL). Especialista em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal do Rio Grande do Norte (IFRN). Graduado em Ciências Biológicas pelo Centro Universitário Facex (UNIFACEX). Graduado em Pedagogia pelo Centro Universitário Internacional Uninter (UNINTER). É membro do corpo editorial da Atena Editora; Aya Editora, Editora Amplla. Tem vasta experiência em Zoologia de Invertebrados, Ecologia aplicada; Educação em Ciências e Educação Ambiental. Áreas de interesse: Fauna Edáfica; Taxonomia e Ecologia de Collembola; Ensino de Biodiversidade e Educação para Sustentabilidade.

MILSON DOS SANTOS BARBOSA - Doutorando em Engenharia de Processos pela Universidade Tiradentes (UNIT). Mestre em Engenharia de Processos pela Universidade Tiradentes (UNIT). Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho pela Faculdade Pio Décimo. Especialista em Docência e Gestão na Educação a Distância pela Faculdade Futura. Bacharel em Engenharia de Petróleo pela Universidade Tiradentes (UNIT). Desenvolve pesquisas voltadas ao desenvolvimento e otimização de processos sustentáveis, produção de biolubrificantes, uso de líquidos iônicos na biocatálise e simulações de docagem molecular.

DANYELLE ANDRADE MOTA - Mestra e Doutorada em Biotecnologia Industrial pela Universidade Tiradentes (UNIT), com internacionalização com o Doutorado Sanduíche no Instituto Superior de Agronomia pela Universidade de Lisboa. Especialista em Docência no Ensino de Ciências pela Faculdade Pio Décimo. Especialista em Neurociência pela Faculdade de Ciências da Bahia (FACIBA). Especialista em Recursos Hídricos e Meio Ambiente pela Universidade Federal de Sergipe (UFS). Graduada em Ciências Biológicas Licenciatura pela Universidade Federal de Sergipe (UFS). Durante a graduação desenvolveu pesquisas na área de Botânica (Taxonomia de Líquens), Microbiológica e Educacional. Durante o mestrado e doutorado desenvolveu trabalhos no Instituto de Tecnologia e Pesquisa (ITP) atuando especialmente pesquisas focadas nas interações entre as áreas de biologia, bioquímica e engenharia química. Visando a melhoria do uso e transformação de recursos agroindustriais da região. Sendo assim, tem experiência na área de Biologia Celular, Microbiologia, Bioquímica, Química e Biotálise com ênfase em imobilização de enzimas para aplicações em bioprocessos. Atualmente, é colaboradora no grupo de pesquisa do ITP, professora na Rede Estadual de Sergipe, professora na Uniplan Centro Universitário e professora voluntária na Universidade Federal de Sergipe (UFS).

ÍNDICE REMISSIVO

A

Acessibilidade 22, 26, 27, 29, 30, 149, 150, 158, 159, 160, 161

Agricultura 8, 82, 200, 209

Agrotóxicos 81, 82, 90, 137

Arboviroses 128, 129, 131, 132, 136, 137, 139

Arduíno 162, 167

Atividade metabólica 52

Avaliação de perdas elétricas 62

B

Balanço Energético Nacional 115

Banners 142, 143, 144, 147, 148

Biocombustíveis 102, 103, 106, 109, 115

Bioenergia 92, 96, 103

Bioinseticidas 128

Biomassa 11, 92, 93, 94, 95, 96, 99, 100, 101, 102, 103, 106, 107, 109, 110, 111, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 122, 123, 124

Biorefinaria 114, 124

C

Cana-de-açúcar 101, 103, 104, 106, 107, 111, 114, 115, 116, 117, 122, 123, 125, 126

Capim Jaraguá 92, 94, 95, 96, 97, 98, 99

Carvão Vegetal 93, 94, 95, 100

CARVÃO VEGETAL 99

Cavitação Hidrodinâmica 114, 115, 116, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124

Células Multijunção 40

Combustíveis Fósseis 9, 11, 93, 102, 108, 115

D

Densificação 92, 93, 94

Desenvolvimento de produtos 149, 150, 151, 160

Desenvolvimento Sustentável 9, 2, 4, 5, 7, 8, 11, 12, 14, 15, 20, 21, 23, 25, 26, 28, 31, 61, 139, 141, 143, 149, 151, 158, 189, 191, 194, 198, 205, 206

Doenças Virais 129

E

Economia circular 1, 3, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17

Energia Elétrica 26, 40, 52, 53, 54, 60, 61, 63, 64, 65, 70, 71, 93, 117

Energia Solar Fotovoltaica 62, 73

Energias Renováveis 54, 72

Espectro Solar 40, 44, 45, 50, 51

F

Fontes Energéticas Renováveis 115

G

Gases de efeito estufa 2, 101, 102

Geração de energia 40, 52, 55, 63, 73, 75, 77, 93, 100, 101, 102, 106, 108

Geração Distribuída 62, 63, 64, 67, 70, 71, 73

Gestão Sustentável de Eventos 20

I

Inseticidas Sintéticos 128, 129, 133

Inseto Vetor 132, 133, 136

M

Meio Ambiente 9, 2, 5, 12, 14, 53, 54, 81, 82, 83, 93, 115, 129, 136, 141, 142, 145, 147, 148, 160, 194, 197, 203, 205, 210, 211, 213

Método LiderA 20, 29

Moléculas Bioativas 130

Mudanças Climáticas 2, 101, 102, 125, 193, 195, 197, 198, 205, 206, 210, 211

N

Nanoantena 33, 34

Nanogeradores Triboelétricos 53

Natureza 9, 23, 102, 142, 143, 147, 150

P

País Desenvolvido 7

País em desenvolvimento 7

Pandemia 141, 144, 146

Plasma não térmico 81, 83

Poluição 3, 50, 82, 141, 142, 147, 169

Problemas Ambientais 9, 2, 5, 6, 16, 141, 142
Processo de Briquetagem 96
Produção Eficiente 101
Produtos Sustentáveis 141, 143, 144, 147, 148

R

Radiação Ultravioleta 40, 44, 45, 48, 49, 50
Rastreamento Solar 72
Reservatório de Água Inteligente 162
Reutilização 8, 10, 16, 94, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149

S

Saúde Humana 12, 82
Sinalização Tátil 149, 150, 151, 152, 153
Sistemas Fotovoltaicos 72
Software OpenDSS 62, 63
Stakeholders 10, 20, 21, 22, 25, 26, 27, 29, 30, 31
Sustentabilidade 2, 9, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 54, 101, 106, 145, 148, 149, 151, 156, 169, 173, 198, 206, 213

T

Tecnologia Assistiva 170
Triboeletricidade 52, 61

AGENDA DA SUSTENTABILIDADE



NO BRASIL:

Conhecimentos teóricos, metodológicos e empíricos

- 🌐 www.atenaeditora.com.br
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- 📷 @atenaeditora
- 📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br



9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					

AGENDA DA SUSTENTABILIDADE



NO BRASIL:

Conhecimentos teóricos, metodológicos e empíricos

- 🌐 www.atenaeditora.com.br
- ✉ contato@atenaeditora.com.br
- 📷 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
- 📘 www.facebook.com/atenaeditora.com.br



9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31					