



**Anais do
V SIMPÓSIO
EM BIOENERGIA**
Novas diretrizes para energias
sustentáveis

ISBN: 978-65-01-83756-7

CBL



9 786501 837567



ORGANIZAÇÃO: Prof. Dr. Daniel Tait Vareschini

ANAIS DO V SIMPÓSIO EM BIOENERGIA
Novas diretrizes para energias sustentáveis

ISBN : 978-65-01-83756-7

Universidade Estadual de Maringá

Programa de Pós-graduação em Bioenergia

Maringá – Paraná – 26, 27 e 28/11/2025



Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

Simpósio em Bioenergia (5.: 2025 : Maringá, PR)

S612a Anais do V Simpósio em Bioenergia, Maringá, 26 a 28 de novembro de 2025 [recurso eletrônico] / Universidade Estadual de Maringá, Programa de Pós-graduação em Bioenergia ; organização: Daniel Tait Vareschini. -- Maringá: UEM/PPB, 2025.

Vários colaboradores.

Tema: Novas diretrizes para energias sustentáveis.

ISBN 978-65-01-83756-7.

Disponível em: <https://ppb.uem.br/repositorio/anais.pdf>

1. Biocombustível renovável - Congressos. 2. Energia renovável - Congressos. 3. Bioenergia - Congressos. 4. Energias sustentáveis - Congressos. I. Vareschini, Daniel Tait, org. II. Universidade Estadual de Maringá. Programa de Pós-graduação em Bioenergia. III. Título. IV. Título: Novas diretrizes para energias sustentáveis.

CDD 23.ed. 662

Síntique Raquel Eleuterio - CRB 9/1641



CORPO EDITORIAL

Editor

Prof. Daniel Tait Vareschini



COMISSÃO ORGANIZADORA

Coordenação Geral

Prof. Daniel Tait Vareschini

Comissão organizadora

Prof^a. Camila de Brito Miranda Faia

Prof^a. Erica Aparecida Romero Ortega

Jocilene Louize Bach Fafarao

Louise Molnar Fedyna

Bianca Alvez

Samantha Batista

Comissão científica

Prof. Daniel Tait Vareschini

Prof^a. Camila de Brito Miranda Faia

Prof^a. Erica Aparecida Romero Ortega



REALIZAÇÃO

Programa de Pós-graduação em Rede em Bioenergia – PPB

Universidade Estadual de Maringá – Paraná- Brasil



APOIO E PATROCÍNIO

**FUNDAÇÃO
ARAUCÁRIA**

**Apoio ao Desenvolvimento Científico
e Tecnológico do Paraná**

PARANÁ
GOVERNO DO ESTADO
SECRETARIA DA CIÊNCIA,
TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR


CREA-PR
Conselho Regional de Engenharia
e Agronomia do Paraná


LINDNER
Techno Systems



APRESENTAÇÃO

O **Simpósio em Bioenergia** é um evento anual organizado pelo Programa de Pós-graduação em Rede em Bioenergia, que é uma associação em rede das universidades UEL, UEM, Unicentro, UEPG, Unioeste e UFPR-Palotina. Anualmente o Programa realiza este encontro, em formato de Simpósio, onde reúne docentes, discente e participantes externos (empresas e pessoas físicas) com a finalidade de difundir e conciliar os conhecimentos obtidos com as pesquisas que são realizadas nas instituições participantes e com isso dar visibilidade pública as ações de ensino, pesquisa e extensão desenvolvidas pelos discente e docentes do Programa.

Nesta V edição o evento propõe uma nova visão sobre a sustentabilidade de processos de produção e obtenção de Biocombustíveis e Energias renováveis importantíssimos para o desenvolvimento regional e nacional destas tecnologias.

Os trabalhos aceitos em formato de Resumo expandido estão dispostos nesse documento como forma de difusão do conhecimento técnico-científico.



SUMÁRIO

O PROGRAMA PRÓ-ÁLCOOL COMO PROJETO ORIENTADO POR MISSÃO: ANÁLISE HISTÓRICA E IMPLICAÇÕES PARA POLÍTICAS ENERGÉTICAS	12
USO DE BIOMASSA DE <i>Azolla filiculoides</i> E SUA RELAÇÃO COM A QUALIDADE DO BIOGÁS....	16
IMPACTO DAS FONTES RENOVÁVEIS NOS ÍNDICES QUE MEDEM A QUALIDADE NO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	20
PERGUNTE AOS CIENTISTAS: O LÚDICO COMO FERRAMENTA DE ESTÍMULO À CURIOSIDADE CIENTÍFICA EM CRIANÇAS	24
CLARIFICAÇÃO DE MÉS RICOS DA USINA SUCROALCOOLEIRA COM POLIELETRÓLITOS E PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO	27
ENERGIA SOLAR EM ESPAÇOS DE ESTACIONAMENTO: DIMENSIONAMENTO DE UMA GARAGEM FOTOVOLTAICA OFF-GRID NA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ	32
AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ANTIOXIDANTE DOS EXTRATOS DA <i>SCHINUS TEREBINTHIFOLIUS RADDI</i> NO BIODIESEL	36
SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE CATALISADORES BASEADOS EM ÓXIDOS MISTOS OBTIDOS VIA MÉTODO DE PECHINI PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS.....	40
ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA BIOMASSA RESIDUAL DA COLHEITA FLORESTAL PARA PRODUÇÃO DESCENTRALIZADA DE BIOCOMBUSTÍVEL SÓLIDO	44
CONVERSÃO DE BIOMASSA ARBÓREA E RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DE BIOCÁRVÃO, GÁS E OLEO UTILIZANDO A PIRÓLISE NA CIDADE DE MARINGÁ-PR	48
PRODUÇÃO BIOLÓGICA DE HIDROGÊNIO POR <i>ANABAENA</i> SPP. E <i>MICROCYSTIS</i> SPP.: CULTIVO CONTROLADO PARA APLICAÇÕES ENERGÉTICAS SUSTENTÁVEIS	52
BIOGÁS EM PEQUENA ESCALA EM RORAIMA	56
PRODUÇÃO DE BIODIESEL DE SOJA COM ANITIOXIDANTES: AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE OXIDATIVA COM PUNICALAGINA E RUTINA.....	60
PEGADA DE CARBONO E CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO DE MILHO CRIOULO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM FOCO NA PRODUÇÃO DE BIOETANOL	64
APLICAÇÃO DE ELETRODOS DE ALUMÍNIO ANODIZADOS PARA GERAÇÃO DE GÁS HIDROGÊNIO VIA ELETRÓLISE ÁCIDA.....	68
CARACTERIZAÇÃO DE AMIDO DE GENÓTIPOS DE MILHO PARA PRODUÇÃO DE ETANOL..	72
OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BIOCHAR DE JERIVÁ PARA ADSORÇÃO DE H₂S E CO₂ EM BIOGÁS	76



BIOCHAR DE BAMBU FUNCIONALIZADO COMO ELETROCATALISADOR SUSTENTÁVEL PARA A REAÇÃO DE EVOLUÇÃO DE HIDROGÊNIO.....	80
A IMPLANTAÇÃO DE BIODIGESTOR EM AMBIENTE ESCOLAR: UMA ANÁLISE ECONÔMICA, SOCIAL E AMBIENTAL.....	84
GESTÃO OPERACIONAL E DE MANUTENÇÃO EM USINAS SOLAR FOTOVOLTAICA	89
POTENCIAL ENERGÉTICO DO TRIGO	92
ENERGIA SOLAR E SUSTENTABILIDADE: OS DESAFIOS DA RECICLAGEM DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS NO BRASIL.....	96
DESENVOLVIMENTO INICIAL DE UM BANCO DE BATERIAS COM CÉLULAS RECICLADAS PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS	100
ENSINO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA E DESENVOLVIMENTO DAS ALTAS HABILIDADES/SUPERDOTAÇÃO: UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-CRÍTICA NA ESCOLA PÚBLICA ESTADUAL	104
ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA COMPARATIVA ENTRE PLANTAS INDUSTRIAIS PARA PRODUÇÃO DE ETANOL DE MILHO NO NOROESTE DO PARANÁ	108
AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA FABRICAÇÃO DE CÉLULAS SOLARES DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL: UMA ABORDAGEM VIA ELETROPULVERIZAÇÃO	112
GASEIFICAÇÃO COMO ALTERNATIVA PARA VALORAÇÃO ENERGÉTICA DA CAMA DE AVIÁRIO E SUPRIMENTO DAS DEMANDAS DE ELETRICIDADE E CALOR PARA GRANJAS..	116
APLICAÇÕES HÍBRIDAS DE PRODUTOS NATURAIS EM ENERGIAS RENOVÁVEIS	120
UTILIZAÇÃO DE DIÓXIDO DE TITÂNIO (TiO₂) E BIOCHAR NA PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR SEMENTE LIGNOCELULÓSICAS	124
DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA NANOPARTICULADO CONTENDO ALOÍNA E RUTINA COMO ANTIOXIDANTE PARA BIODIESEL	129
EFEITO DO PRÉ-TRATAMENTO DE INÓCULO NA PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO POR FERMENTAÇÃO ESCURA	133
AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FOTOSSENSIBILIZADOR DA ASTAXANTINA PROVENIENTE DE Haematococcus pluvialis EM SISTEMAS DE CÉLULAS SOLARES SENSIBILIZADAS POR CORANTES.....	137
APLICAÇÕES DE PRÉ-TRATAMENTOS EM RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS VISANDO SUA VALORAÇÃO ENERGÉTICA	141
AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DE SISTEMAS HÍBRIDOS SOLAR-EÓLICOS NA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO.....	145
ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA-FINANCEIRA DE DIFERENTES METODOS DE REFINO DE BIOMETANO PARA DIFERENTES VAZÕES	149
OTIMIZAÇÃO DA DESIDRATAÇÃO DE MISTURAS COMBUSTÍVEIS COMPOSTAS POR ÓLEO FÚSEL-DIESEL B VIA PROCESSOS FÍSICOS DE SEPARAÇÃO.....	153



NANOPARTÍCULAS DE SnO₂/CuO SOBRE ELETRODO DE AÇO INOXIDÁVEL 254 PARA PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VIA ELETRÓLISE DA ÁGUA AUXILIADA POR ÁCIDO FÓRMICO E ETANOL.....	157
EFEITO DAS VARIÁVEIS OPERACIONAIS DA ETAPA WATER GAS SHIFT NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VIA REFORMA A SECO DO BIOGÁS	161
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DA VINHAÇA NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS: PERSPECTIVAS AMBIENTAIS, ECONÔMICAS E ENERGÉTICAS.....	165
SUSTENTABILIDADE E DIREITO AMBIENTAL NA IMPLANTAÇÃO DE USINA DE ETANOL A PARTIR DE RESÍDUOS DE BATATA: VIABILIDADE DE PARTICIPAÇÃO NO MERCADO DE CARBONO	169
HESPIRIDINA E DIOSMINA COMO ANTIOXIDANTES NATURAIS PARA BIODIESEL	173
ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA USINA FOTOVOLTAICA NO IFPR TELÊMACO BORBA, UTILIZANDO PERFORMANCE RATIO	177
PENETRAÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM REDES ELÉTRICAS	182
MODELAGEM COMPUTACIONAL HÍBRIDA DA TRANSESTERIFICAÇÃO LIPÍDICA DA MOSCA-SOLDADO-NEGRO (<i>HERMETIA ILLUCENS</i>): INTEGRAÇÃO DE REDES NEURAIS E SIMULAÇÃO REACIONAL PARA BIOQUEROSENE SUSTENTÁVEL NA AVIAÇÃO (SAF)	186
MODELAGEM COMPUTACIONAL DE PROCESSOS REACIONAIS DA MICROALGA <i>POTERIOCHROMONAS MALHAMENSIS</i> APLICADOS À PRODUÇÃO DE BIOQUEROSENE SUSTENTÁVEL PARA AVIAÇÃO (SAF).....	190
MODELAGEM CINÉTICA DO PROCESSO DE BIODIGESTÃO VISANDO À PRODUÇÃO DE METANO.....	194
COPRODUTO DA PRODUÇÃO DE ETANOL DE BATATA-DOCE COMO POTENCIAL PARA ALIMENTAÇÃO ANIMAL	198
AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA RELAÇÃO SUBSTRATO/INÓCULO NO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE METANO A PARTIR DA DIGESTÃO ANAERÓBIA DE EFLUENTES INDUSTRIAIS	202
PRODUÇÃO DE ENZIMAS LIGNOCELULOLÍTICAS DE FUNGOS FILAMENTOSOS POR FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO PARA TRATAMENTO DE BIOMASSA.....	206
CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE COCO E POTENCIAL CATALÍTICO DA LIPASE DE <i>Burkholderia cepacia</i> VISANDO À PRODUÇÃO DE BIOQUEROSENE.....	210
AÇUCARES E AMIDO CONFORME ESTÁDIOS FENOLÓGICOS DO MILHO PARA PRODUÇÃO DE ETANOL	214
APROVEITAMENTO DE COMPOSTOS NATURAIS DE <i>EUPHORBIA TIRUCALLI</i> L. PARA CONVERSÃO DE ENERGIA SOLAR E GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE POR ELETRÓLISE	218
MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS HIT	223



O PROGRAMA PRÓ-ÁLCOOL COMO PROJETO ORIENTADO POR MISSÃO: ANÁLISE HISTÓRICA E IMPLICAÇÕES PARA POLÍTICAS ENERGÉTICAS

Paulo Cesar Rezende de Carvalho Alvim, Eduarda Carolina Hagemann Lopes,

Amarildo Hersen, André Lazarin Gallina¹

¹Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná - UNICENTRO

Palavras-chave

Energia, Fonte Renovável, Biocombustível, Bioetanol, Cana-de-açúcar.

Resumo

O objetivo da pesquisa consiste em analisar se o Programa Pró-álcool, implantado na década de 1970, ajusta-se ao modelo de políticas orientadas por Missão, identificando sua trajetória, resultados e contribuições para políticas públicas de energia e inovação. Em termos de método, utilizou-se de pesquisa de natureza aplicada, com abordagem de análise qualitativa, de base bibliográfica e documental, de objetivos descritivos e procedimento técnico de estudo de caso. Os resultados sugerem que o Pró-álcool incentivou a modernização das usinas e o desenvolvimento de tecnologias produtivas, diversificando não só as tipologias de usinas como na diversidade de fontes de biomassa, além dos avanços na oferta de bioetanol de 1^a, 2^a e 3^a geração, e para tanto envolveu grande diversidade de atores. Conclui-se que há evidências de impacto econômico, social, tecnológico e ambiental, com aderência ao modelo de Mazzucato.

Introdução

A abordagem orientada por “missão” se aplica quando se têm grandes desafios, com o esforço de integrar competências, recursos e tudo dentro de um mesmo propósito, unindo um conjunto de ações com o mesmo objetivo e na busca de se ter a melhor solução para o desafio que se apresenta. Neste sentido, cada vez mais vem sendo utilizado o modelo de políticas orientadas por Missão, uma abordagem teórica-econômica, desenvolvida por Mariana Mazzucato da *University College London*, relacionado ao papel do setor público na inovação. Nessa abordagem, o propósito público deve situar-se no centro de como se cria riqueza coletivamente (Mazzucato, 2018). Uma missão pode ser liderada pelo governo e executada por muitos agentes, onde parcerias público e privado, almejam solucionar importantes problemas, criando valor na sociedade, e por meio de contratos que atuem conforme o interesse público. Pensar uma grande missão envolve definir metas não somente ambiciosas, mas também inspiradoras, capazes de catalisar inovações ao longo de múltiplos setores e atores da economia. (Mazzucato, 2021)

Com aplicação nas áreas de gestão, pesquisa científica e tecnológica, educação, produção, diversificação produtiva e inovação, o modelo consiste em estruturar esforços coletivos a partir de propósitos com objetivos claros, bem definidos, se possível mensuráveis e direcionados a “missões”, orientando a ação estratégica de equipes ou organizações para resolver desafios complexos. (Mazzucato, 2019) Esta é uma abordagem que se soma a outras abordagens, como a de construção de políticas industriais, políticas setoriais, onde o diferencial é a modelagem das entregas a partir de etapeamentos. Pouco se tem identificado na literatura científica a respeito do Pró-álcool na abordagem de uma política pública que transbordou o seu objetivo inicial de substituir importações de petróleo. Dessa forma, a presente pesquisa consiste em analisar se o Programa Pró-álcool ajusta-se ao modelo de políticas



orientadas por Missão, identificando sua trajetória, resultados e contribuições para políticas públicas de energia e inovação.

Material e métodos

A presente pesquisa configura-se como sendo de natureza aplicada, dado que objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos à solução de problemas específicos, esses encarados sob a perspectiva de “missões”. A forma de abordagem da pesquisa configura-se como sendo de análise qualitativa, tendo base bibliográfica e documental, no acervo do Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), no Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), e ainda os trabalhos recentes de Mazzucato. No tocante aos objetivos, a pesquisa classifica-se como descritiva. Por fim, quanto ao procedimento técnico, este corresponde ao estudo de caso, que segundo Silva e Menezes (2005). Para que o Programa em análise apresente aderência ao modelo de política orientada por missão, deve obrigatoriamente, segundo Mazzucato (2018): (i) definir a Missão, por meio da formulação de um objetivo ousado e claro, alinhado a desafios sociais, econômicos ou tecnológicos, em um processo que envolva diversos stakeholders para validar a sua relevância; (ii) desdobrar a Missão em Objetivos e Tarefas, desenvolvendo metas intermediárias, quantificáveis e atingíveis, incluindo as entregas; (iii) a estruturação das Equipes Transdisciplinares (reunindo diferentes perfis e áreas do conhecimento, inclusive utilizando formas coletivas e em rede de trabalho, como consórcios); (iv) a estruturação da Gestão Orientada para Resultados com monitoramento frequente de progresso e avaliação de impacto e ajustes das estratégias; (v) ter a capacidade de Escalar os resultados com práticas de disseminação e compartilhamento de aprendizados.

Resultados e Discussão

A década de 1970 foi marcada por duas crises de energia, de abrangência global, em decorrência do aumento de preço do petróleo, o que trouxe um desafio de pesquisa científica e tecnológico, pela busca de alternativas energéticas, e outro econômico, relacionado a substituição de importação de petróleo. As crises do petróleo (1973 e 1979), que fizeram disparar o preço do combustível fóssil, evidenciaram a dependência brasileira do petróleo importado, e estimularam a busca por alternativas energéticas para garantir o abastecimento. Em resposta à crise do petróleo, o governo brasileiro criou o Programa Nacional do Alcool, incentivando a produção de bioetanol a partir da cana. O Brasil já era referência em termos de produção científica sobre aplicações de bioetanol e por conta da sua capacidade produtiva no setor, dispunha de um conjunto de elementos e elos da cadeia produtiva bem estruturados e com padrões de competitividade e produtividade diferenciada. O país já tinha uma história de produção de bioetanol de cana de açúcar, e experiências de uso de biocombustíveis em motores de combustão (ciclos Otto e Diesel) nas bancadas de pesquisa do Instituto Nacional de Tecnologia (INT) e do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do estado de São Paulo (IPT) (Szmrecsányi, Moreira, 1991). Universidades como a USP, Unicamp, UFRJ, UFMG, UFPR, UFAL, UFPE e outras instituições federais desenvolveram pesquisas técnicas e científicas relacionadas ao bioetanol. As pesquisas das unidades da Embrapa relacionadas a cana de açúcar e ao Centro Tecnológico da Aeronáutica (CTA), na adaptação de motores para bioetanol puro e misturado à gasolina, inclusive foi desenvolvido um motor nacional ciclo Otto para bioetanol além de ter liderado os testes em dinamômetro e em rodagem de campo por todo o território nacional.

O Programa foi criado pelo governo federal em 14 de novembro de 1975, onde o IAA coordenou o Pró-álcool e mobilizou vários atores da máquina pública, além de instituições de pesquisa e as



universidades. Com objetivo de reduzir a dependência do petróleo importado; estimular a produção interna de combustíveis alternativos; e aproveitar a vocação agrícola do país para a cana-de-açúcar. As suas medidas de apoio previam: financiamento e subsídios para produtores de cana e usinas; parcerias com montadoras para fabricar veículos adaptados ao álcool; preço garantido para o etanol; e comprometimento das distribuidoras para comercializar o combustível. Importante ressaltar que ocorreu transbordamento de incentivos federais, com incentivos estaduais, e mesmo municipais, que facilitou a onda do uso do carro a álcool (MAPA, 2025). Em sua primeira fase, o programa estimulou o aumento da produção de álcool e a adaptação de motores ciclo Otto para uso de mistura álcool com gasolina. Na segunda fase, onde 1978 foi um marco, passa a circular veículos com motor a álcool, com destaque para o FIAT 147 (primeiro veículo de fábrica no mundo utilizando bioetanol). (Rodrigues; Ross, 2020) Numa ação articulada das instituições de pesquisa, montadoras de automóveis e setor de combustível, apoiado por uma política pública de incentivos fiscais e crédito diferenciado, logo a frota brasileira de veículos leves passou a usar predominantemente bioetanol. Uma ação de política pública que viabilizou o atendimento da missão. O primeiro caso internacional de uso massivo de biocombustível, integrando todos os agentes da cadeia produtiva, e o país tornou-se líder mundial em tecnologia de produção de bioetanol de cana-de-açúcar, buscando práticas mais sustentáveis, com uso de energia renovável e limpa para locomoção de sua frota de veículos leves. (ANFAVEA, 2025) A produção saltou de menos de 600 milhões de litros/ano em 1975 para cerca de 3,5 bilhões de litros em 1985, o que incentivou a produção de veículos movidos a álcool no Brasil, na década de 1980, os carros a álcool chegaram a representar mais de 90% dos carros leves vendidos no Brasil. Nos anos 1990, a popularidade caiu devido à escassez de álcool e à queda nos preços da gasolina, reduzindo drasticamente a produção e uso desses veículos. (Cruz, et al., 2016) Considerando as características de um modelo orientado por missão, o Quadro 1 demonstra os pontos de aderência do Pró-álcool ao modelo.

Quadro 1– Aderência do Pró-álcool aos requisitos metodológicos de um Projeto Orientado por Missão

Requisitos da metodologia	Evidências
Definir a Missão	Reduzir importações de derivados de petróleo; substituir derivados de petróleo em motores de combustão.
Desdobrar a Missão em Objetivos e Tarefas	Viabilizar o uso de álcool em motores de combustão de veículos leves, onde além da adaptação/conversão de motores a gasolina em 1978, foi lançado o primeiro veículo de uso exclusivo de bioetanol, que impactou no percentual da frota utilizando este combustível. Na década de 1980, os carros a álcool chegaram a representar mais de 90% dos carros leves vendidos no Brasil. A produção de álcool saltou de menos de 600 milhões de litros/ano em 1975 para cerca de 3,5 bilhões de litros em 1985.
Formar Equipes Transdisciplinares	Mobilização de equipes de governo, em vários ministérios e nas 3 instâncias (federal, estadual e municipal), da comunidade acadêmica e de pesquisa científica e tecnológica, e do setor empresarial, em toda a cadeia produtiva, envolvendo plantio de cana de açúcar, produção de álcool, distribuição, conversão e manutenção de motores, indústria automobilística, indústria de bens de capital, oficinas mecânicas, entre outros Abrangência de atuação nacional.
Adotar Gestão Orientada para Resultados	Instrumento de política pública que era monitorado pelo Conselho Nacional de Energia (CNE), com metas de produção, de mistura de álcool na gasolina, e de percentual da frota utilizando álcool.
Escalar os resultados com práticas continuadas de Disseminação	A evolução da produção de bioetanol colocou o Brasil como liderança mundial no setor de bioetanol e protagonista no desenvolvimento de pesquisa científica e tecnológica na



	área (número de artigos científicos publicados e patentes registradas), e novos lançamentos de veículos flex, híbrido e o uso de hidrogênio verde.
--	--

Fonte: Autor

Considerações finais

O objetivo da pesquisa foi analisar se o Programa Pró-álcool ajusta-se ao modelo de políticas orientadas por Missão, identificando sua trajetória, resultados e contribuições para políticas públicas de energia e inovação. Com relação ao método de investigação, utilizou-se de pesquisa de natureza aplicada, com abordagem de análise qualitativa, de base bibliográfica e documental, de objetivos descritivos e procedimento técnico de estudo de caso. Os resultados da pesquisa sugerem que o Programa Pró-álcool incentivou a modernização das usinas e o desenvolvimento de tecnologias agrícolas, como variedades de cana mais produtivas e sistemas de colheita mecanizada. Na área de desenvolvimento de tecnologias produtivas, diversificou não só as tipologias de usinas como na diversidade de fontes de biomassa, além dos avanços na oferta de bioetanol de 1ª, 2ª e 3ª geração, sendo que o desenvolvimento dos veículos “flex fuel” (a partir de 2003), pode ser definido como a maior contribuição da tecnologia brasileira para o mundo, pois gera aumento da demanda e a competitividade do bioetanol. Para que esse resultado fosse alcançado, envolveu grande diversidade de atores. Nos anos 90 o seu propósito foi continuado, não como política pública mas, pela ação das comunidades acadêmica e empresarial, já que o negócio do bioetanol foi assumido pela indústria automobilística e a sucroalcooleira, que no desafio agora da transição energética, assumiu a resposta imediata com soluções inovadoras, que permite o Brasil ser liderança mundial em combustíveis verdes, limpos, sustentáveis e renováveis, que dá protagonismo na nova economia verde a partir da contribuição do setor energético e com uma matriz energética de baixo carbono. Conclui-se que é possível afirmar que o Pró-Álcool ajusta-se ao modelo orientado por missão, pelo nível de aderência encontrado na política pública ao modelo descrito.

Agradecimentos

Unicentro / Fundação Araucária / equipe do Próalcool da STI-MIC nas pessoas de Silvério, Bin e Negrão e in memoriam Bautista Vidal, Monaco, Danna e Max

Referências

- CRUZ, C. H. B.; SOUZA, G. M.; CANTARELLA H.; SLUYS, M.-A.; MACIEL FILHO, R.; CORTEZ, L. A. B. (org.). **Universidades e empresas: 40 anos de ciência e tecnologia para o etanol brasileiro**. São Paulo: Blucher, 2016.
- MAZZUCATO, M. **Mission Economy: a moonshot guide to changing capitalism**. London: Allen Lane, 2021.
- MAZZUCATO, M. **Missão: Como alavancar a inovação para resolver os desafios da sociedade**. Companhia das Letras, 2019.
- MAZZUCATO, M. **The value of everything: making and taking in the global economy**. London: Allen Lane, 2018.
- RODRIGUES, G. S. S. Campos; ROSS, J. L. S. A agroindústria sucroalcooleira e o Próalcool. In RODRIGUES, G. S. S. Campos; ROSS, J. L. S. (Orgs.). **A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental**. Uberlândia: Eduful, 2020.
- SILVA, E. L. da; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005.
- SZMRECSÁNYI, T.; MOREIRA, E. P. O desenvolvimento da agroindústria canavieira do Brasil desde a Segunda Guerra Mundial. **Estudos Avançados**, v.5, n.11, p.57-79,1991.



USO DE BIOMASSA DE *Azolla filiculoides* E SUA RELAÇÃO COM A QUALIDADE DO BIOGÁS

Patricia Carlin da Cunha ¹

Maria Luiza Fernandes Rodrigues ¹

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná, UNIOESTE, Campus Toledo

Palavras-chave

Bioenergia, Azolla, Transição Energética

Resumo

A samambaia aquática *Azolla filiculoides* apresenta elevado potencial para biorremediação de ambientes aquáticos, tratamento de efluentes e uso como ingrediente nutricional na alimentação animal e humana, devido ao seu alto teor proteico e rápido crescimento. Essas características, somadas à demanda por inovações tecnológicas verdes na transição energética, tornam essa planta um objeto de estudo relevante para soluções integradas no ciclo de produção de biogás a partir de resíduos agropecuários e industriais. Entretanto, ainda são escassos os estudos sobre a aplicação direta da biomassa de *Azolla filiculoides* na produção de biogás. Diante disso, este projeto busca avaliar o efeito da biomassa dessa espécie na eficiência da fermentação anaeróbica e na qualidade do biogás gerado, além de investigar possíveis variações na composição da biomassa cultivada sob diferentes condições experimentais. O objetivo é contribuir para o desenvolvimento de alternativas sustentáveis e aprimorar o desempenho do processo de produção de biogás.

Introdução

A agropecuária brasileira, devido à sua expressiva dimensão e relevância econômica, enfrenta desafios críticos na gestão de resíduos. O tratamento inadequado dessa biomassa gera impactos ambientais negativos, destacando-se a emissão de gases de efeito estufa (GEEs), a contaminação de corpos hídricos e do solo, e o mau aproveitamento do potencial energético contido nesse material. A diversidade de resíduos demanda, ainda, estratégias de manejo diferenciadas em função da variação de composição química e de sua relação Carbono/Nitrogênio (Matthiensen et al., 2024).

Para o aproveitamento de resíduos, soluções como a geração de biogás/biofertilizantes, a compostagem e o uso de plantas aquáticas, como a *Azolla filiculoides*, para remediação e enriquecimento de substratos, têm sido propostas e discutidas (Herbes et al., 2018; Arora et al., 2023). No entanto, a consolidação dessas alternativas em larga escala exige maior desenvolvimento científico e superação de desafios técnicos, econômicos e regulatórios. A complexidade dos processos e a qualidade do biogás produzido ainda requerem maior compreensão e conhecimento tecnológico (Kunz et al., 2019).

O equilíbrio entre carbono (C) e nitrogênio (N), expresso pela razão C:N é um dos fatores mais determinantes para a eficiência do processo de digestão anaeróbica e a qualidade do biogás. O desequilíbrio dessa razão compromete a digestão, onde o excesso de carbono retarda o processo, pois os microrganismos consomem rapidamente o nitrogênio disponível, e o excesso de nitrogênio, por sua vez, favorece a formação de amônia em concentrações tóxicas para as arqueias metanogênicas, resultando em menor rendimento de metano (o componente energético ideal do biogás, em torno de 70%) e na geração de odores (Kunz et al., 2019).



Portanto, o ajuste da composição dos substratos no biodigestor é fundamental. A mistura de materiais ricos em carbono (palha, resíduos vegetais secos) com fontes ricas em nitrogênio (esterco, resíduos de cozinha e biomassa de *Azolla filiculoides*) é uma prática recomendada para atingir a proporção ideal (Costa *et al.*, 1999; Miranda *et al.*, 2016). O monitoramento contínuo da C:N por meio de análises laboratoriais é crucial para maximizar a formação de metano, garantindo um produto de qualidade superior e mitigando riscos ambientais (Joseph Dioha *et al.*, 2013; Schultz *et al.*, 2025).

Neste cenário, a samambaia aquática *Azolla filiculoides* é uma alternativa estratégica, pois estabelece simbiose com a cianobactéria *Anabaena azollae*, o que lhe confere uma alta capacidade de fixação de nitrogênio atmosférico, e ainda possui características notáveis, como um rápido crescimento, sendo capaz de duplicar sua biomassa em aproximadamente 48 horas em condições ideais (Lumpkin & Plucknett, 1980).

Considerando as qualidades da *Azolla filiculoides*, este projeto tem como objetivo principal avaliar a eficácia do uso da biomassa de *Azolla filiculoides* como agente suplementar na produção de biogás por processo anaeróbico. Em adição, o estudo também vai verificar se existe diferença na composição da biomassa de *Azolla filiculoides* cultivada nos diferentes tratamentos do experimento.

Material e métodos

Cultivo da Azolla em Laboratório

Dia 01

Inicialmente foram utilizados três aquários volume para 50 litros de água, com superfície para a lâmina de água de 120 cm². Cada aquário foi preenchido com 5 litros de água destilada e adicionado 0,5 g de um composto nutritivo com micro e macro nutrientes em quantidade conhecida, conforme sugestão da literatura (Pereira e Carrapiço, 2009). Após o preparo dos recipientes, foram adicionados 40 g de *Azolla filiculoides*. E por fim, foi colocado sobre os três aquários, uma lâmpada controlada por timer para 12 horas de luz e 12 horas de escuro.

Dia 02

Dez dias após, foi feita a primeira observação e ajustes para a definição da melhor proporção de nutrientes para o desenvolvimento da planta e determinação. Foi realizada a coleta da parte da biomassa renovada e descarte do restante. A biomassa coletada foi misturada e dividida em 3 porções de 15 gramas, para ser utilizada conforme segue.

Os aquários foram numerados, pois a partir de agora a solução nutritiva e proporção de água destilada foi diferente para cada um. A água do aquário n. 01 (AQ¹) foi reservada, o aquário foi higienizado, após, foram adicionados 10 litros de água destilada. O aquário n. 02 (AQ²) não foi esvaziado, a este foram adicionados mais 5 litros de água destilada para completar 10 litros. Ao aquário n. 03 (AQ³) foi adicionada a água reservada do 01, completando os 10 litros, dessa forma, foi mantido somente substrato usado para o cultivo da planta nesse recipiente, portanto, sem renovação de nutrientes. Aos aquários AQ^{1,2}, foram adicionados 0,5 g do composto nutritivo. A partir de então, a fim de garantir o padrão dos fotoperíodos (12 h / 12 h), os aquários foram isolados com uma lona preta.

Dia 03

Após um intervalo de 07 dias, foi observado que o AQ¹ se desenvolveu bem, a proporção da biomassa verde era dominante sobre a que apresentava degradação, apresentando uma biomassa total de



25 g. O AQ² também se desenvolveu bem, entretanto, apresentou uma proporção de biomassa verde mais equiparada com a que apresentava degradação, esse modelo gerou biomassa de 24 g. Já o AQ³ não apresentou bom desenvolvimento, apresentando uma proporção dominante de biomassa degradada sobre a verde, porém a biomassa total também aumentou de volume, 26 g.

Os ajustes foram da seguinte forma, após a pesagem da biomassa gerada em cada aquário, a biomassa verde foi separada da degradada e dividida em duas porções de 15 gramas para serem utilizadas nos AQ^{1,2}. Como houve uma grande reprodução vegetativa em todos os aquários, durante a passagem pela peneira no preparo para a pesagem da biomassa, essas folhas novas passaram pela malha da peneira e foram separadas para o cultivo no AQ³. O ajuste da nutrição para o AQ¹ foi de 2 gramas de nutriente mais um litro de água destilada, para o AQ² foi adicionado 4 gramas de nutriente e, também, um litro de água destilada, ao AQ³ (somente folhas pequenas e novas) foi adicionado 4 gramas de nutriente e 500 mL de água destilada.

Dia 04

Após um intervalo de 08 dias, foi observado que todas as plantas morreram, formando uma densa camada de algas verdes.

Resultados e Discussão

Como essa Samambaia é fosforo dependente, mas não exclusiva, o balanço de outros nutrientes foi realizado com base no melhor protocolo aplicado por Pereira e Carrapiço, 2009. Até o presente momento, estamos verificando o melhor o cultivo para a biomassa de *Azolla filiculoides* referência (tanque mãe) ajustando a proporção entre a mistura nutritiva e quantidade de água (destilada ou usada). Até agora, os resultados não são suficientes para o cultivo da planta, ajustes serão realizados e novos resultados apresentados oportunamente. Até o final dessa fase, será definido um protocolo com condições viáveis para controle em laboratório.

Considerações finais

Até o presente momento, estamos definindo o melhor tratamento do substrato que utilizaremos para o crescimento da biomassa referência. Os próximos passos serão para cultivar mais dois tipos de tratamentos diferenciados, sendo um com 50% de água de criação de peixe (AP) e outro com 50% de água de digestato (AD), ambos com os outro 50% de água destilada.

Na sequência serão realizados quatro experimentos de biodigestão anaeróbia, dois deles utilizando biomassa residual de palha e vegetais secos (fonte de carbono), um misturado com biomassa de *Azolla* de AP e o outro de AD. O terceiro será realizado somente com biomassa de *Azolla* (AP) e o quarto de (AD). Após, será realizada a análise da qualidade do biogás resultante do processo.

Agradecimentos

Primeiro agradeço à professora Maria Luiza Fernandes Rodrigues por prontamente me acolher como orientada e me estimular nos estudos. Ao coordenador do Programa de Pós-graduação em Bioenergia, professor Salah. Agradeço, também, aos colaboradores que fazem diferença no decorrer da busca pelo conhecimento e realização dos experimentos, Deoclécio e Fernando. Agradeço ao incentivo concedido pelo CAPES, na forma de bolsa de mestrado, sem o qual não poderia estar me dedicando integralmente aos estudos.

Referências



Arora, A., Nandal, P. & Chaudhary, A. **Critical evaluation of novel applications of aquatic weed *Azolla* as a sustainable feedstock for deriving bioenergy and feed supplement.** Environmental Reviews 31, 2023.

Costa, M.L., Santos, M.C. & Carrapiço, F. **Biomass characterization of *Azolla filiculoides* grown in natural ecosystems and wastewater.** Hydrobiologia, 1999.

Herbes, C., Brummer, V., Roth, S. & Röhl, M. **Using aquatic plant biomass from de-weeding in biogas processes—an economically viable option?** Energy, Sustainability and Society Springer Verlag 8, 2018.

Joseph Dioha, I., Dioha, I.J., Ikeme, C., Nafi, T., Soba, N.I. & Mbs, Y. **Effect of carbon to nitrogen ratio on biogas production.** International Research Journal of Natural Sciences, 2013.

Kunz, A., Steinmetz, R.L.R., Steinmetz, R. & Amaral, A.C. do. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento de digestato.** Concórdia, Santa Catarina: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019

Matthiensen, A., Bolsan, A.C., Kunz, A., Amaral, A.C. do., Venturin, B., Hollas, C.E., Gomes, D.C., Cândido, D., et al. (2024). **Gestão dos resíduos da produção animal: gestão e tratamento dos dejetos na suinocultura.** Brasília, DF: Embrapa; Concórdia, SC: Sbera: @Embrapa, 2024.

Miranda, A.F., Biswas, B., Ramkumar, N., Singh, R., Kumar, J., James, A., Roddick, F., Lal, B., et al. **Aquatic plant *Azolla* as the universal feedstock for biofuel production.** Biotechnology for Biofuels BioMed Central Ltd. 9, 2016.

Pereira, A.L. & Carrapiço, F. **Culture of *Azolla filiculoides* in artificial conditions.** Plant Biosystems 143, 431–434, 2009. <https://theazollafoundation.org/growing-azolla/irri2-growing-medium/>. Acesso em 15 de Outubro de 2025.

Schultz, J., Scherzinger, M., Amr, ., Elbanhawy, Y. & Kaltschmitt, Martin. **Long-Term Continuous Anaerobic Co-digestion of Residual Biomass-Model Validation and Model-Based Investigation of Different Carbon-to-Nitrogen Ratios.** BioEnergy Research 18, 18–58, 2025.



IMPACTO DAS FONTES RENOVÁVEIS NOS ÍNDICES QUE MEDEM A QUALIDADE NO FORNECIMENTO DE ENERGIA ELÉTRICA

Discente: GILBERTO TEODOROSKI¹

Orientador: Prof. DR. EDSON ANTONIO DA SILVA¹

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE – Toledo - PR

Palavras-chaves

Indicadores de qualidade, Eficiência Energética, Energia Solar, DEC e FEC, PRODIST Módulo 8.

RESUMO

Este estudo propõe analisar o impacto da inserção de fontes renováveis distribuídas (GD) nos indicadores de qualidade de energia elétrica regulatórios (DEC, FEC, DRP, DRC e DGC) na área de concessão Urbana e Rural da COPEL em Cascavel-PR. A metodologia consistirá em uma análise quantitativa, utilizando dados da ANEEL e COPEL de 2011 a 2024, correlacionando estatisticamente a penetração de GD com a evolução dos índices em alimentadores pré-selecionados (alta vs. baixa penetração). Espera-se encontrar correlações significativas, com reduções nas faixas de 15-35% para os indicadores de tensão (DRP/DRC) e até 35-50% no DEC/FEC. Os produtos incluirão um artigo científico, um modelo de correlação e subsídios técnicos para revisão normativa.

1. INTRODUÇÃO

A qualidade do fornecimento de energia elétrica é um pilar para o desenvolvimento econômico e social, rigorosamente regulado no Brasil pela ANEEL através do Manual PRODIST Módulo 8. Os indicadores de continuidade **DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora)** e **FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora)** são métricas fundamentais, representando, respectivamente, o tempo total e a frequência média que um consumidor fica sem energia em um período. Complementarmente, os indicadores de qualidade de tensão **DRP (Duração Relativa de Tensão Precária)** e **DRC (Duração Relativa de Tensão Crítica)** quantificam o tempo em que a tensão permanece fora dos limites estabelecidos, sendo críticos para a vida útil dos equipamentos. A síntese dessas dimensões é capturada pelo **DGC (Desempenho Global de Continuidade)**. Estes índices são vitais para distribuidoras e reguladores, pois determinam a confiabilidade do sistema e impactam diretamente nas tarifas e compensações financeiras devidas aos consumidores por descumprimento de metas. Embora tenha ocorrido redução nos índices de interrupção, com o FEC passando de 5,15 (2023) para 4,89 (2024) e o DEC de 10,42 para 10,24 horas. Os valores de compensação em 2024 totalizaram R\$ 1,12 bilhão (ANEEL, 2025), evidenciando a significativa pressão regulatória e financeira sobre o setor e a necessidade de buscar fontes alternativas na GD. Dos valores de compensação de 2024, competem à Copel mais de R\$ 40 milhões.

Internacionalmente, métricas equivalentes são amplamente adotadas, como SAIDI (equivalente ao DEC), SAIFI (equivalente ao FEC), CAIDI, MAIFI, ASIDI e ASIFI, etc., demonstrando a convergência global na avaliação da confiabilidade (MIHAI, 2019).



O crescimento exponencial da GD, especialmente solar, adiciona uma nova variável a esta equação. Estudos nacionais e internacionais começam a investigar essa relação. Andrade (2024) aponta para a redução do carregamento de alimentadores como um fator chave, enquanto Santos (2023) demonstra em estudo de caso o potencial de microrredes – com uso de fontes GD - para melhorar a continuidade. No cenário internacional, pesquisas corroboram ganhos de confiabilidade em sistemas com alta penetração de GD. Estudos consagrados, como os de BILLINTON e ALLAN (1990), demonstram que a Geração Distribuída (GD), ao injetar energia diversificada e distribuída, reduz esses índices com melhoria de 25% a 40%, traduzindo-se em um sistema elétrico substancialmente mais confiável e resiliente.

Apesar do crescimento da GD e do marco regulatório, faltam estudos abrangentes no contexto paranaense que quantifiquem de forma conjunta e isolada seu impacto nos índices de qualidade de tensão (DRC/DRP) e de continuidade (DEC/FEC). Este trabalho busca preencher essa lacuna, fornecendo uma análise robusta e metodologicamente fundamentada que sirva de subsídio para agentes do setor elétrico.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Delimitação da Área de Estudo e Período de Análise

Este estudo terá como caso de estudo a área de concessão da COPEL na região de Cascavel-PR. A escolha deve-se à representatividade do perfil de carga (urbano, rural e agroindustrial) e à crescente penetração de GD na região, permitindo uma análise robusta dos impactos. A análise compreenderá dados mensais do período histórico de janeiro de 2011 a dezembro de 2024. Este intervalo captura a fase de expansão significativa da MMGD solar no Paraná, haja vista a Resolução Normativa nº 482 de 2012 da ANEEL, fornecendo uma série temporal robusta para a análise estatística.

2.2. Seleção dos Alimentadores e Critérios

Dentro da região de Cascavel, serão selecionados 3 alimentadores de média tensão que atendam aos seguintes critérios:

- **Rural:** Alimentador Tensão 34,5kV com atendimento majoritário a consumidores na área rural;
- **Urbano:** Alimentador Tensão 13,8kV com atendimento majoritário na área urbana;
- **Misto:** Alimentador Tensão 13,8kV, com atendimento a consumidores rurais/urbanos.

2.3. Fontes de Dados

Os dados serão obtidos de fontes oficiais: **ANEEL:** Relatórios de Qualidade (DEC, FEC, DGC, DRP, DRC); **COPEL:** Dados de potência instalada de GD por alimentador, perfis de carga e eventos de interrupção; **EPE/ONS:** Dados complementares sobre expansão da GD e operação do sistema.

2.4. Análise Estatística

Para quantificar a relação entre a penetração de GD e os indicadores de qualidade, serão adotadas as seguintes métricas estatísticas:

1. **Coefficiente de Correlação de Pearson (r):** Para medir a força- direção da relação linear entre a potência de GD e os índices DEC e FEC. Espera-se uma correlação negativa e significativa.
2. **Análise de Regressão Linear Simples:** Para modelar a relação. Ex.: $DEC = \beta_0 + \beta_1 * (Potência_GD) + \varepsilon$. Um coeficiente β_1 negativo e significativo confirmará o impacto benéfico.



3. **Teste t para Amostras Independentes:** Para comparar a média dos índices DEC e FEC entre o grupo Rural, Urbano e Misto. Espera-se uma diferença estatisticamente significativa (p-valor < 0,05).
4. **Análise de Série Temporal:** Gráficos de linha para visualizar a tendência conjunta dos índices e da potência de GD ao longo do período (2010-2024).

2.5. Metodologia de cálculo dos indicadores de qualidade

Para quantificar os impactos da geração distribuída, adotou-se a metodologia estabelecida pela ANEEL no Módulo 8 do PRODIST, utilizando as seguintes fórmulas para cálculo dos indicadores de continuidade:

DEC (Duração Equivalente Interrupção por Consumidor); FEC (Frequência Equiv./Consumidor);

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^{NUC} DIC(i)}{NUC}$$

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{NUC} FIC(i)}{NUC}$$

DRP (Duração Relativa Transgressão Tensão Precária);

$$DRP = \sum \frac{DRP_i}{N_L} [\%]$$

DRC (Duração Relativa Crítica);

$$DRC = \sum \frac{DRC_i}{N_L} [\%]$$

Cálculo do Desempenho Global de Continuidade:

$$DGC = \frac{\frac{\sum_i^n DEC(i)}{DEC_{lim}} + \frac{\sum_i^n FEC(i)}{FEC_{lim}}}{2}$$

Onde:

DIC(i): Duração Interrupção Individual por Unidade Consumidora

FIC(i): Frequência Interrupção Individual por Unidade Consumidora

NUC: Número Total de Unidades Consumidoras Faturadas do Conjunto no Período de apuração (BT/MT)

DRP(i): Duração relativa de Transgressão Precária Individual da Unidade Consumidora (i)

DRC(i): Duração relativa de Transgressão Crítica Individual da Unidade Consumidora (i)

3. RESULTADOS ESPERADOS

Com a implementação da metodologia proposta, espera-se encontrar uma correlação negativa estatisticamente significativa entre o aumento da penetração de GD e os valores dos índices DEC e FEC. Com base em tendências iniciais e na literatura (SANTOS, 2023; ANDRADE, 2024), projeta-se que os alimentadores que atendam regiões com maior penetração de GD, apresentem desempenho superior na qualidade dos índices de confiabilidade.

3.1. Resultados esperados para os indicadores de tensão (DEC, FEC, DRP E DRC)

Antecipa-se que a geração distribuída, ao injetar energia localmente, contribua para a estabilização do perfil de tensão ao longo dos alimentadores. Dessa forma, os resultados esperados, com base em estudos preliminares, apontam para:

- Redução entre **35% e 45%** nos valores de DRP; Entre **40% e 50%** nos valores de DRC; Entre **15% e 25%** nos valores de DEC; Entre **25% e 35%** nos valores de FEC.

3.2. Análise comparativa por perfil de consumidor e região

É previsto que os benefícios se manifestem de forma heterogênea. A hipótese a ser testada é a de que os maiores ganhos serão observados em:



- **Áreas Rurais e Agroindustriais:** Onde a rede é mais extensa e distante das Subestações, sendo assim, mais susceptível a interrupções. A GD pode atuar como uma fonte de backup crítico. Espera-se uma redução de **até 40%** no DEC nestes cenários.
- **Alimentadores com Alta Penetração Solar:** Onde a coincidência entre a geração e o pico de carga diurno (comercial) pode aliviar significativamente o carregamento da rede.

4. PRODUTOS E CONTRIBUIÇÕES ESPERADOS

Como produtos tangíveis desta pesquisa, espera-se entregar:

1. Um **artigo científico** submetido a um periódico qualificado, detalhando a metodologia e os resultados.
2. Um **modelo de correlação quantitativa** entre o nível de penetração de GD e a melhoria nos indicadores DEC e FEC, aplicável por distribuidoras.
3. **Cenários prospectivos** para os indicadores de qualidade até 2030, considerando as projeções de crescimento da GD no Paraná.
4. **Subsídios técnicos** para a revisão de normas setoriais (como o PRODIST) e para políticas públicas de incentivo à GD, destacando seus benefícios sistêmicos.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial ao Prof. Dr. Edson Antonio da Silva pela orientação técnica e suporte fundamental ao desenvolvimento desta pesquisa. Agradeço também ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia da UNIOESTE pela infraestrutura e suporte institucional, e à organização do V Simpósio de Bioenergia pela oportunidade de divulgação desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- ANEEL. Procedimentos de Distribuição - PRODIST. Módulo 8: Qualidade da Energia Elétrica. Agência Nacional de Energia Elétrica, 2023.
- ANDRADE, E. L. *Impacto da Geração Distribuída na Confiabilidade de Sistemas de Distribuição*. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 2024.
- BILLINTON, R.; ALLAN, R. N. *Reliability Evaluation of Power Systems*. 2nd ed. New York: Plenum Press, 1996.
- EPE. Balanço Energético Nacional 2025 - Ano base 2024. Empresa de Pesquisa Energética, 2025.
- IEEE Std 1366-2012. IEEE Guide for Electric Power Distribution Reliability Indices. IEEE, 2012.
- MIHAI, C. Reliability and Continuity Indicators Estimation in System of Electrical Power Supply to the Consumer. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENERGY AND ENVIRONMENT (CIEM), 2019, Timișoara. Anais[...]. IEEE, 2019. p. 1-5.
- SANTOS, E. R. *Microrredes no aprimoramento dos indicadores de continuidade de fornecimento em sistemas de distribuição de energia elétrica*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2023.



PERGUNTE AOS CIENTISTAS: O LÚDICO COMO FERRAMENTA DE ESTÍMULO À CURIOSIDADE CIENTÍFICA EM CRIANÇAS

Djenifer Nicoly de Quadros da Silva¹

Laura Andrade Manfio¹

Renata Cristina Weber¹

Daiane Finger Ferreira¹

André Lazarin Gallina¹

¹Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO)

Palavras-chave

Divulgação científica, Curiosidade científica, Interação universidade-escola.

Resumo

O projeto “Pergunte aos Cientistas” em sua primeira edição, teve como objetivo despertar a curiosidade científica e aproximar crianças da ciência por meio de atividades lúdicas e interativas. A proposta consiste na apresentação de uma peça teatral protagonizada pelo *Professor Curioso*, pela *Dra. Sabe Tudo*, *Maria Experimento* e pela *Aprendiz*, que realizam experimentos visuais e dialogam com o público de forma divertida e educativa. Após o espetáculo, as crianças são incentivadas a formular perguntas sobre temas que despertam sua curiosidade, as quais são posteriormente encaminhadas a cientistas da Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro), principalmente participantes do PPGb, que elaboram respostas adequadas à faixa etária. Em um segundo momento, o *Professor Curioso* retorna às escolas para entregar as respostas em forma de “cartinhas científicas”, concluindo o ciclo de interação entre as crianças e os cientistas. As ações já foram realizadas em 4 escolas do Município de Guarapuava, totalizando mais de 350 crianças envolvidas. O projeto tem se mostrado uma estratégia eficaz para promover o interesse das crianças pela ciência, fortalecer o vínculo entre universidade e comunidade e valorizar a curiosidade como ponto de partida para o aprendizado científico.

Introdução

O estímulo à curiosidade e ao pensamento científico desde a infância constitui uma das bases para a formação de cidadãos críticos e participativos na sociedade contemporânea. A curiosidade natural das crianças é o ponto de partida para o desenvolvimento de atitudes investigativas, fundamentais para a compreensão do mundo e para a construção do conhecimento científico (Martins; Gouvêa & Piccini, 2019). No entanto, o ensino de ciências nas séries iniciais ainda enfrenta desafios relacionados à escassez de abordagens práticas e contextualizadas, que dialoguem com o imaginário infantil e favoreçam a aprendizagem significativa.

Nesse contexto, estratégias lúdicas, como o teatro, o jogo e a experimentação demonstrativa, têm se mostrado eficazes para despertar o interesse das crianças pela ciência, permitindo que conceitos



complexos sejam apresentados de maneira acessível, prazerosa e envolvente (Freitas, Silva & Pereira, 2020). Além disso, a aproximação entre cientistas e crianças contribui para desmistificar a figura do pesquisador e promover uma visão mais humana e inclusiva da ciência (Santos & Mortimer, 2021).

Em consonância com este cenário a Capes vem estimulando os Programas de Pós Graduação a desenvolverem atividades de extensão em conjunto com o seus discentes, para aproximar a sociedade aos cursos de pós-graduação (Felix, 2025). Neste sentido, o Programa de Pós Graduação em Bioenergia em conjunto com o Departamento de Química da Unicentro desenvolveram o projeto de extensão Pergunte aos cientistas, para preencher esta lacuna entre sociedade e universidade, com uma interação lúdica como ferramenta de mediação entre o conhecimento científico e a curiosidade infantil. A iniciativa busca valorizar as perguntas das crianças como ponto de partida para o aprendizado e fortalecer o vínculo entre o saber acadêmico e o cotidiano, contribuindo para a popularização da ciência e para a formação de uma cultura científica desde os primeiros anos escolares.

Material e métodos

O projeto “Pergunte aos Cientistas” em sua primeira edição, durante o ano de 2025, foi desenvolvido em quatro escolas do Município de Guarapuava, envolvendo mais de 350 crianças de 5 a 10 anos. As ações foram conduzidas por uma equipe composta por docentes do Departamento de Química e Física da Unicentro, além de discentes da graduação em química e do Programa de Pós-graduação em Bioenergia, que atuaram de forma articulada entre o teatro e a ciência. O objetivo foi despertar a curiosidade científica por meio de atividades lúdicas e interativas, criando um ambiente acolhedor e estimulante para o diálogo entre crianças e cientistas.

As apresentações tiveram caráter teatral e experimental, com duração média de 45 minutos, utilizando demonstrações simples e seguras de química e física. Durante as atividades, as crianças foram incentivadas a escrever ou desenhar suas dúvidas em bilhetes, que eram depositados na “caixa de perguntas”. Posteriormente, essas perguntas foram encaminhadas a pesquisadores da Unicentro, responsáveis por elaborar respostas em linguagem acessível e ilustrada.

As respostas retornaram às escolas em forma de cartinhas personalizadas, entregues pelo próprio Professor Curioso, encerrando o ciclo de aprendizagem e reforçando o vínculo afetivo e científico entre as crianças e os cientistas.

Resultados e Discussão

As ações do projeto “Pergunte aos Cientistas” proporcionaram um ambiente de intensa participação e encantamento por parte das crianças. Em cada escola visitada, o momento da apresentação lúdica foi marcado por expressões de surpresa, curiosidade e entusiasmo diante dos experimentos realizados pelo Professor Curioso e sua equipe.

Durante as atividades, as crianças foram estimuladas a expressar suas dúvidas e curiosidades por meio de desenhos e bilhetes, que revelaram questionamentos genuínos e criativos, como “por que o céu é azul?”, “do que são feitas as estrelas?” e “de onde veio a primeira semente?”. Essas perguntas evidenciam o potencial natural das crianças para a investigação científica e a importância de espaços que valorizem o ato de perguntar como parte do processo de aprendizagem.

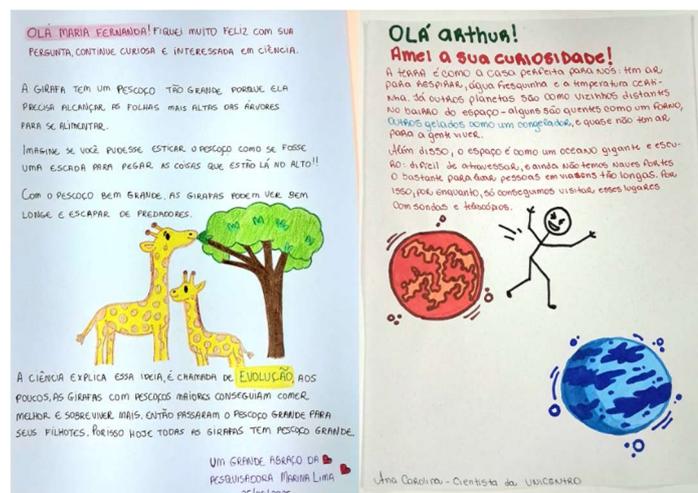
Figura 1 - Momento da intervenção com os alunos



Fonte: os autores (2025)

As respostas elaboradas pelos cientistas da Unicentro buscaram traduzir os conceitos científicos de maneira clara, afetiva e encantadora, respeitando a linguagem e o universo simbólico da infância. O retorno das cartinhas respondidas, entregue pessoalmente pelo Professor Curioso e suas assistentes, representou um momento de grande emoção, reforçando o vínculo entre ciência e imaginação, e demonstrando às crianças que suas perguntas foram valorizadas e levadas a sério.

Figura 2 - Exemplo de cartinhas respondidas pelos cientistas



Fonte: os autores (2025)

De modo geral, observou-se que o formato interativo e teatral da ação favoreceu o engajamento e a compreensão dos conteúdos científicos, promovendo um diálogo sensível entre o conhecimento acadêmico e o pensamento infantil. O projeto tem se mostrado uma estratégia eficaz para a popularização



da ciência e o desenvolvimento da curiosidade científica, reforçando o papel social da universidade na formação de uma cultura científica desde os primeiros anos escolares.

Além disso, a participação de alunos de graduação e pós graduação, faz com que os mesmos vivenciem os desafios de transformar conceitos científicos que podem ser desenvolvidos durante suas pesquisas em termos mais palpáveis à comunidade geral, atingindo a sociedade.

Considerações finais

As ações do projeto “Pergunte aos Cientistas” demonstraram o grande potencial da interação entre universidade e escolas para despertar a curiosidade científica das crianças e aproximá-las do universo da pesquisa. A utilização do teatro e de experimentos simples como ferramentas de comunicação científica mostrou-se eficaz para traduzir conceitos complexos de forma acessível, lúdica e encantadora. As perguntas elaboradas pelas crianças revelaram uma percepção atenta e criativa sobre o mundo natural, reforçando a importância de espaços educativos que valorizem o questionamento como ponto de partida para o aprendizado. O retorno das respostas em forma de cartinhas personalizadas consolidou o vínculo afetivo entre cientistas e estudantes, contribuindo para a popularização da ciência e para a construção de uma relação de confiança e encantamento com o conhecimento. Dessa forma, o projeto reafirma o papel social da universidade como promotora da cultura científica e da formação de cidadãos curiosos, críticos e conscientes.

Agradecimentos

Os autores agradecem as escolas Maple Bear; Lobo Avenida; Aldeia do Sol; Escola Estadual Padre Estanislau Cebula que disponibilizaram os espaços e a Capes, pelo apoio financeiro via Programa de Extensão Universitária da Pós-Graduação (PROEXT-PG) para o desenvolvimento das atividades.

Referências

FELIX, R. R. Avanços e desafios da extensão na Educação Superior Brasileira. **Educação Em Revista**, v. 26, 2025, disponível em <https://doi.org/10.36311/2236-5192.2025.v26n.e025002>.

FREITAS, R. M.; SILVA, T. A.; PEREIRA, J. C. O lúdico no ensino de ciências: contribuições para o desenvolvimento da curiosidade e da aprendizagem significativa. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, v. 13, n. 4, p. 155–169, 2020.

MARTINS, I.; GOUVÊA, G.; PICCININI, C. A curiosidade e a investigação científica na infância. **Ciência & Educação**, v. 25, n. 1, p. 1–17, 2019.

SANTOS, F. M. T.; MORTIMER, E. F. Divulgação científica e ensino de ciências: aproximações e potencialidades. **Revista Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 23, e20210013, 2021.

CLARIFICAÇÃO DE MÉS RICOS DA USINA SUCROALCOOLEIRA COM POLIELETRÓLITOS E PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO

Vitória Narita Dantas¹



Dr. José Eduardo Olivo¹

¹Universidade Estadual de Maringá

Palavras-chave

Biocombustíveis, melão, etanol.

Resumo

O Brasil é um líder na produção de etanol, usando esse biocombustível para reduzir as emissões de gás carbônico na atmosfera. Nessa tendência sustentável, pesquisas são desenvolvidas para utilização e reaproveitamento dos resíduos da produção de etanol. A pesquisa atual investiga o reaproveitamento do melão ou méis ricos que são obtidos após o processo de evaporação da indústria sucroalcooleira. Para tal foi proposto a clarificação deste resíduo com o Policloreto de Alumínio (PAC) e o peróxido de hidrogênio e foram alcançadas boas clarificações, com redução de cores observada após 48 horas e 72 horas. Contudo, o pH do material foi afetado, diminuindo, em média, de 4,5 para 2. Assim concluiu-se que é possível melhorar a clarificação com PAC e peróxido de hidrogênio, mas deve-se avaliar os impactos na fermentação e na produção de etanol.

Introdução

O Brasil é destaque em produção de etanol, a anos investe na produção e utiliza desse biocombustível, a partir de agosto de 2025 após estudos a mistura de etanol anidro na gasolina aumentou de 27% para 30%, reforçando o compromisso com a sustentabilidade e prospectando a diminuição de emissões de gás carbônico. No período de 2003 a março de 2025, o uso de etanol evitou que mais de 730 milhões de toneladas de CO₂ fossem lançadas na atmosfera e na safra de 2024/2025 foram produzidos 29,1 bilhões de litros de etanol a partir da cana de açúcar. (UNICA, 2025)

Na tendência atual de sustentabilidade a necessidade da utilização de resíduos industriais tem tido grande interesse de estudo devido ao apelo ecológico e econômico, além de uma ampla aplicação, entretanto requerendo em alguns casos, estudos de clarificação que viabilizem não só a obtenção dos produtos, mas também as etapas de recuperação e purificação sem aumento excessivo no custo do processo (Valduga *et al*, 2008).

Ainda segundo Valduga *et al.*, (2008) os substratos agroindustriais como o melão da cana de açúcar são bastante complexos e alguns de seus componentes podem ser responsáveis por dificultar a fermentação e/ou purificação de bioprodutos. Conforme apontado por Mendonça (2019) esse tipo de resíduo é composto basicamente por água, carboidratos, compostos orgânicos como aminoácidos, ácidos carboxílicos, proteínas, vitaminas, fenóis entre outros e sofrem variações em sua composição devido a fatores externos, como de cultivo e de processos de fabricação usualmente utilizados nas indústrias.

O Policloreto de Alumínio (PAC) é um coagulante polimérico inorgânico pré-hidrolisado que tem grande aplicação no tratamento de água de abastecimento e residuária. (Kamiwada *et al.*, 2020). Segundo Dantas *et al* 2022, constatou-se a clarificação dos méis ricos com o policloreto de alumínio e também a redução no tempo de fermentação do material clarificado.

Conforme apontado por Sartori e Aguiar (2015), o peróxido de hidrogênio (H₂O₂) tem se destacado como uma solução de baixo custo para clarificação em diferentes setores da indústria de

alimentos. Além disso, não exige grandes modificações na infraestrutura industrial, o que o torna ainda mais atrativo na indústria de açúcar.

O presente trabalho propõe potencializar a clarificação dos méis ricos residuais da produção de etanol com a utilização da combinação de polieletrólitos com o peróxido de hidrogênio.

Material e métodos

Preparação de matéria prima

Inicialmente fez-se a inversão da matéria-prima, xaropes e méis diluídos obtidos de uma usina de açúcar e etanol para produção de etanol, utilizando enzima invertase. (Silva, 2016)

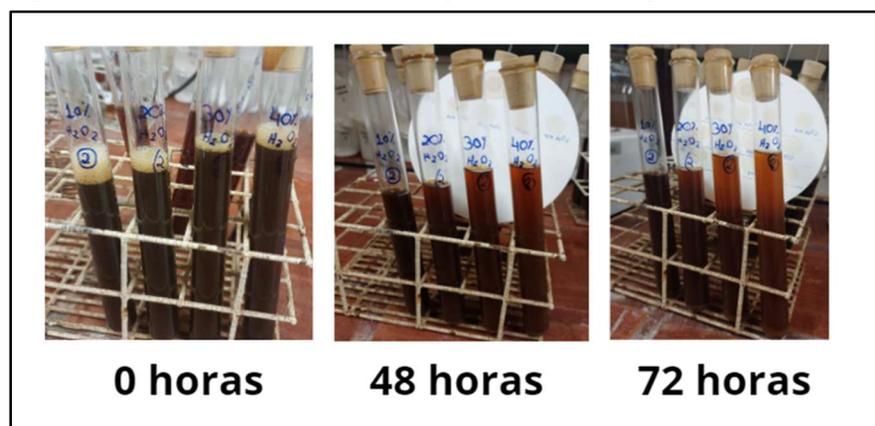
Clarificação

Com o mel invertido de alta concentração realizou-se a clarificação inicial com o polieletrólito policloreto de alumínio (PAC), 23% adaptado de Dantas *et al.*, (2022). A partir do material clarificado, retirou-se o corpo de fundo e realizou-se testes de clarificação em diferentes volumes de Peróxido de hidrogênio com acompanhamento qualitativo de cor, ainda verificou-se o pH.

Resultados e Discussão

Foram obtidos bons resultados de clarificação, percebeu-se uma redução de cores a partir de 48 horas (Figura 2) e a estabilização da cor após 72 horas (Figura 3).

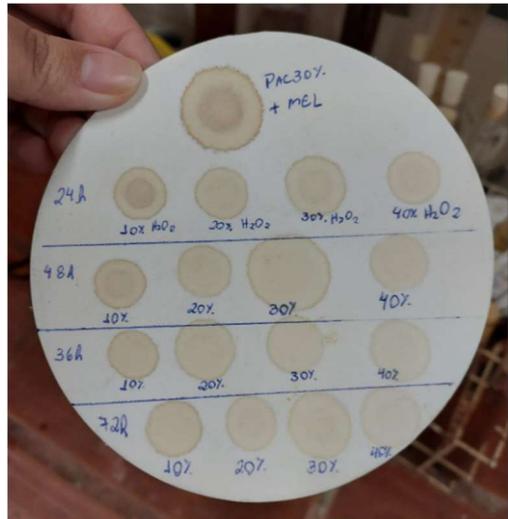
Figura 1 - Clarificação em tubos para avaliação qualitativa de cores.



Fonte: Autores, 2025.

Ainda foi realizada uma cromatografia em papel com propósito de comparação qualitativa da evolução da clarificação (Figura 4).

Figura 4 - Clarificação em tubos para avaliação qualitativa de cores - Tempo: 48 horas.



Fonte: Autores, 2025.

Foi possível observar a clarificação dos méis ricos com a combinação dos PAC e peróxido de hidrogênio. Percebeu-se também que o método com peróxido de hidrogênio impactou no pH saindo de uma média 4,5 para aproximadamente 2. Isso revela a necessidade de uma investigação mais profunda em termos quantitativos de redução de cor e os efeitos que essa clarificação pode incidir na fermentação e consequentemente na produção de etanol.

Considerações finais

Conclui-se que é possível uma melhor clarificação com os métodos combinados (PAC e peróxido de hidrogênio), entretanto ainda é necessária uma investigação mais profunda em termos quantitativos de cor, além de avaliar e mitigar os impactos no pH, na concentração de açúcares, na fermentação e na produção de etanol que tal processo pode causar.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao professor orientador pela paciência e direcionamentos, a Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná pelo apoio financeiro concedido por meio da bolsa de mestrado e a instituição de ensino Universidade Estadual de Maringá pela oportunidade de participar do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e pela disponibilidade de uso das dependências laboratoriais e seus recursos.

Referências



Dantas, V. N.; Mendonça R. X. L.; Olivo, J. E. CLARIFICAÇÃO DE XAROPES E MÉIS RICOS DE USINA AÇUCAREIRA PARA PRODUÇÃO DE ETANOL, **EAIC 2022**. Acesso em: <http://www.eaic.uem.br/eaic2022/anais/artigos/6160.pdf>

Kamiwada, W. Y; Andrade, P. V; Reis, A. G.; Emprego do cloreto de polialumínio em estudos de tratabilidade de água de abastecimento via coagulação, floculação e sedimentação. **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 2020**. Acesso em: <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020180005>

MENDONÇA, R. X. L.; **ESTUDO CINÉTICO DA FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA DE MEL INVERTIDO E MEL INVERTIDO E CLARIFICADO**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Química, Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2019.

SILVA F. H.; **Cultivo de saccharomyces cerevisiae em processos descontínuo e descontínuo alimentado utilizando mel invertido para produção de etanol.**; Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Estadual de Maringá. Maringá, 2016.

UNICA; Etanol combustível do presente e futuro da mobilidade sustentável. Acesso em: <https://unica.com.br/setor-sucroenergetico/etanol/>

VALDUGA, E; VALÉRIO, A; TREICHEL, H; LUCCIO, M. D; JACQUES, R, A; JÚNIOR, A. G; Pré-tratamentos de melaço de cana-de-açúcar e água de maceração de milho para a bioprodução de carotenóides. **Química Nova, 2008**. Acesso em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000800012>



ENERGIA SOLAR EM ESPAÇOS DE ESTACIONAMENTO: DIMENSIONAMENTO DE UMA GARAGEM FOTOVOLTAICA OFF-GRID NA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ

Renan Toledo de Souza¹

Gabriel Urbano Alberton¹

Kaio Henrique Sossai Navarro¹

Lucas Lima Provensi¹

Glauccio Pedro de Alcantara¹

¹Universidade Estadual de Maringá

Palavras-chave

Energias renováveis, gerador fotovoltaico, garagem solar.

Resumo

O crescimento da frota de veículos elétricos no Brasil evidencia a necessidade de ampliar a infraestrutura de recarga, ainda insuficiente e concentrada em grandes capitais. Em cidades de médio porte, como Maringá, esse problema é mais acentuado, reforçando a busca por alternativas sustentáveis e descentralizadas. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo propor o dimensionamento de um ponto de recarga *off-grid* para veículos elétricos na Universidade Estadual de Maringá, utilizando energia solar fotovoltaica com armazenamento em baterias, de modo a reduzir a dependência da rede elétrica convencional. A metodologia adotada considerou a média de horas de sol pleno da região (5,12 horas), o rendimento global do sistema (0,8) e um fator de segurança de 10%, além do dobro do consumo médio mensal, visando garantir confiabilidade mesmo em condições adversas de geração. O consumo estimado foi de 408 kWh/mês, considerando a estação de recarga e cargas auxiliares, o que resultou na necessidade de um sistema de 7,4 kWp. O kit gerador selecionado inclui 12 módulos bifaciais de 700 Wp, inversor *off-grid*, bateria de lítio, cabos e carregador veicular *Wallbox*. Os resultados demonstram a viabilidade técnica da proposta, evidenciando que a energia solar pode suprir de forma eficiente a demanda de recarga de veículos elétricos. Conclui-se que a implementação de sistemas fotovoltaicos *off-grid* representa uma solução sustentável, contribuindo para a descentralização do acesso à energia limpa, para a mitigação dos impactos ambientais e para a consolidação da mobilidade elétrica no Brasil.

Introdução

De acordo com a Associação Brasileira do Veículo Elétrico (ABVE), a comercialização de veículos elétricos apresentou um crescimento de 9,5% no primeiro semestre de 2025 em comparação ao mesmo período de 2024. Esse aumento reflete a tendência mundial de transição para meios de transporte mais limpos e sustentáveis, impulsionada tanto por políticas de descarbonização quanto pela busca por



alternativas à dependência de combustíveis fósseis. Entretanto, observa-se que a infraestrutura necessária para atender a essa crescente frota tem avançado de forma lenta e descompassada em relação ao número de veículos em circulação (SARTINI, 2025).

Atualmente, estima-se que existam aproximadamente 300 mil veículos elétricos em circulação no Brasil, enquanto o país dispõe de apenas 8,8 mil pontos de recarga (SARTINI, 2025). Além da insuficiência numérica, há ainda uma problemática relacionada à distribuição geográfica desses pontos, visto que a maior concentração se encontra no estado de São Paulo e nas principais capitais, o que gera desigualdade no acesso à recarga em diferentes regiões (EXAME, 2025). Em cidades de médio porte, como Maringá, essa realidade é ainda mais evidente: o município conta com apenas 60 pontos de recarga, número pouco expressivo frente à necessidade de expansão da mobilidade elétrica (CARREGADOS, 2025).

Nesse cenário, torna-se evidente a necessidade de ampliar e descentralizar a infraestrutura de recarga, de modo a acompanhar o ritmo de crescimento da frota elétrica nacional. Entre as soluções possíveis, destaca-se a adoção de alternativas inovadoras e sustentáveis que integrem geração própria de energia, reduzindo a sobrecarga sobre a rede elétrica convencional. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é propor o dimensionamento de um ponto de recarga *off-grid* veículos elétricos no âmbito da Universidade Estadual de Maringá (UEM), contribuindo não apenas para a expansão da mobilidade elétrica, mas também para a consolidação de práticas institucionais alinhadas à sustentabilidade e à eficiência energética.

Material e métodos

Para sistemas fotovoltaicos conectados à rede (*on-grid*), o dimensionamento pode ser determinado pela Equação 1 (PROVENSI, 2018).

$$P = (E_{consumida} - E_{min}) / (30 * HSP * R) \quad (1)$$

Onde o consumo médio mensal de energia elétrica da unidade consumidora, representado por $E_{consumida}$, é obtido a partir da média dos registros anuais de consumo de energia. Já E_{min} é o valor corresponde à energia mínima faturável em quilowatt-hora no mês, definida pela concessionária em função do tipo de ligação elétrica — monofásica, bifásica ou trifásica. O parâmetro HSP , por sua vez, representa as horas de sol pleno disponíveis no local de instalação, variando conforme as condições geográficas da região. Por fim, o rendimento global do sistema, indicado por R , considera as perdas associadas ao processo de conversão de energia e aos componentes do arranjo fotovoltaico, tais como cabos, inversor e conexões.

Considerando que a instalação será realizada no campus da Universidade Estadual de Maringá, adota-se o valor de 5,12 horas de sol pleno (HSP), conforme dados do CRESESB (2025). Além disso, como os módulos fotovoltaicos serão orientados para o norte, condição que otimiza a captação da irradiação solar, assume-se um rendimento global do sistema de 0,8 (PROVENSI, 2018).

Por se tratar de um sistema *off-grid*, que utiliza baterias para garantir a continuidade do fornecimento de energia, o dimensionamento considerou o dobro do consumo médio mensal da unidade,



a fim de assegurar o funcionamento pleno mesmo em condições adversas de geração. A esse valor foi acrescido um fator de segurança de 10%, de modo a contemplar possíveis variações de carga e perdas adicionais. Ressalta-se ainda que, por não haver conexão com a rede elétrica, não se aplica o parâmetro de energia mínima normalmente exigido pelas concessionárias. Dessa forma, a Equação 1 torna-se:

$$P = (2,2 * E_{consumida}) / (30 * 5,12 * 0,8) \quad (2)$$

Resultados e Discussão

Foi estabelecido que a garagem fotovoltaica será situada no estacionamento do bloco O27 da UEM, para estipular o consumo foram consideradas as cargas da Tabela 1. Essa tabela é baseada no consumo do BYD Dolphin (BYD, 2025) com a autonomia de 50 km por dia e uma área de conveniência.

Tabela 1 – Tabela de cargas da garagem solar.

Equipamento	Quantidade [un]	Potência [W]	Tempo [h/dia]	Consumo [kWh/mês]
Estação de Recarga	1	7400	-	264
Refletor LED	1	200	10	60
Tomada uso geral	2	100	2	12
Starlink	1	100	24	72

Com a energia total consumida de 408 kWh/mês obtida pela Tabela 1 e aplicando a Equação 2, obtém-se que a potência do kit gerador necessário é de no mínimo 7,3 kWp. Buscando no site da distribuidora de equipamentos fotovoltaicos (SOLMAIS(b), 2025) o kit gerador disponível de potência imediatamente acima da potência calculada é de 7,4 kWp. Esse kit é composto por: 12 Módulos de 700 Wp Bifacial ERA Solar, 1 Inversor *Off-Grid Luxpower* 5 kW / 220 V / 48 V, 1 Bateria *Backup* Lítio *Luxpower* 100 Ah, 100 metros de cabo CC e os conectores necessários. Além disso, foi considerado um carregador veicular *Wallbox* 7,4 kW *Solplanet* (SOLMAIS(a), 2025).

Considerações finais

O presente trabalho apresentou o dimensionamento de um ponto de recarga off-grid para veículos elétricos na Universidade Estadual de Maringá, evidenciando a viabilidade técnica da aplicação da energia solar fotovoltaica para suprir a crescente demanda da mobilidade elétrica. Os resultados demonstraram que, por meio do uso de módulos solares e sistemas de armazenamento em baterias, é possível atender ao consumo estimado com confiabilidade, mesmo sem conexão à rede elétrica convencional. Dessa forma, reforça-se a relevância das energias renováveis como solução sustentável para os desafios energéticos contemporâneos, não apenas pela redução da dependência de combustíveis



fósseis, mas também pelo potencial de descentralização e democratização do acesso à energia limpa. O avanço de projetos como este contribui diretamente para a mitigação dos impactos ambientais e para a consolidação de uma matriz energética mais diversificada e sustentável.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Estadual de Maringá pelo ensino público e gratuito de excelência, bem como o projeto de pesquisa VASFE. Agradecem, ainda, ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia pela organização do evento e pelo incentivo à produção científica.

Referências

CARREGADOS. *Estações de Recarga em Maringá - PR.* 2025. Disponível em: [https://carregados.com.br/estacoes?cidade=maringá&estado=paraná%20\(pr\)](https://carregados.com.br/estacoes?cidade=maringá&estado=paraná%20(pr)). Acesso em: 01 out. 2025.

CRESESB. *Potencial Solar — Plataforma de dados solares.* Disponível em: <https://cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Acesso em: 01 out. 2025.

PROVENSI, L. L., et al. *Apostila de Projetos de Sistemas de Micro Geração Fotovoltaica.* 2018.

SARTINI, G. *Falta de estrutura para carro elétrico é um problema e uma oportunidade bilionária.* Gazeta do Povo, 2024. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/energia/falta-de-estrutura-para-carro-eletrico-e-um-problema-e-uma-oportunidade-bilionaria/>. Acesso em: 01 out. 2025.

SCHUCK, S. *Vendas de carros elétricos crescem 9,5% no Brasil no 1º semestre de 2025.* Portal Solar, 2025. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/tecnologia/mobilidade-eletrica/vendas-de-carros-eletricos-crescem-9-5-no-brasil-no-1o-semester-de-2025>. Acesso em: 01 out. 2025.

SOLMAIS (a). *Carregador Veicular Wallbox Solplanet.* 2025. Disponível em: <https://solmais.com.br/produtos/81227/categorias-carregador-veicular-wallbox-solplanet>. Acesso em: 01 out. 2025.

SOLMAIS (b). *Gerador de Energia Solar Off-Grid Interativo Luxpower sem Estrutura.* 2025. Disponível em: <https://solmais.com.br/produtos/137390/gerador-de-energia-solar-off-grid-interativo-luxpower-sem-estrutura>. Acesso em: 01 out. 2025.



AVALIAÇÃO DA CAPACIDADE ANTIOXIDANTE DOS EXTRATOS DA SCHINUS TEREBINTHIFOLIUS RADDI NO BIODIESEL

Gabriel Barbacovi Zanella¹; Fernanda Oliveira Lima²; André Lazarin Galina¹
Letiére Cabreira Soares²

¹Universidade Estadual do Centro-Oeste

²Universidade Federal da Fronteira Sul

Palavras-chave

Antioxidantes, Biocombustível, *Schinus terebinthifolius Raddi*.

Resumo

Diante da urgência climática e do desafio crucial da instabilidade química do biodiesel, este projeto objetiva produzir e avaliar o potencial antioxidante de extratos (aquoso, hidroalcoólico e etanólico) das folhas e do óleo essencial dos frutos da espécie nativa *Schinus terebinthifolius Raddi* (aroeira-da-praia) no biodiesel de soja. A pesquisa busca oferecer uma alternativa natural e de baixo custo aos aditivos sintéticos, os quais, apesar de eficazes, são caros e suscitam preocupações com toxicidade e potencial carcinogênico. A metodologia envolve a caracterização dos extratos (compostos fenólicos e flavonoides), testes de neutralização do radical DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazila), culminando na aplicação dos aditivos no biodiesel para medir seu efeito inibitório da oxidação mediada por ferro e cobre, e a determinação do Tempo de Indução (TI) pelo método Rancimat. Em resultados preliminares nos testes de DPPH, os valores representados experimentalmente, denotaram uma atividade antioxidante superior 85% em todos os extratos e suas concentrações, nos diferentes tempos de extração.

Introdução

Os combustíveis fósseis promovem um impacto significativo na emissão de gases poluentes, especialmente em grandes centros, o que impeliu o Ministério do Meio Ambiente e Mudança Climática a firmar um compromisso com a redução desses poluentes. Além das preocupações ambientais relacionadas ao aquecimento global, o uso intensivo dessas fontes não renováveis acarreta no risco iminente de seu esgotamento (Brasil, 2024). Diante deste cenário de urgência climática, torna-se imperativo reequilibrar o modelo de desenvolvimento, alinhando o avanço tecnológico e o crescimento socioeconômico com a preservação ambiental. Neste trajeto, os biocombustíveis, como o biodiesel ocupam uma posição estratégica no Brasil, contribuindo não apenas para a descarbonização da matriz energética, mas também para o desenvolvimento econômico do país (Silva, 2023). Contudo, a estabilidade química do biodiesel representa um desafio crucial, visto que sua degradação é desencadeada pelo processo de autooxidação durante o transporte e armazenamento (Massetto et al, 2022). Atualmente, a estabilidade do biodiesel é mantida por antioxidantes sintéticos, como o BHA, BHT, PG, TBHQ e PY, que, embora eficientes em baixas concentrações, são onerosos e suscitam preocupações relativas à toxicidade, incluindo potencial carcinogênico (Oleinik, 2024). Por conseguinte, há uma crescente demanda por alternativas naturais e renováveis. Neste contexto, a *Schinus terebinthifolius Raddi* destaca-se por sua capacidade intrínseca de neutralizar radicais livres, um potencial já explorado no âmbito farmacológico, mas que pode ser expandido para outros setores. Suas



folhas e frutos são fontes de compostos bioativos relevantes, como kaempferol, procianidina, hesperidina, epicatequina, rutina, germacreno D, cariofileno e γ -pineno, que podem conferir estabilidade ao biodiesel (Oliveira et al, 2024; Silva et al, 2024; Nopkuesuk et al, 2025). Desta forma, o presente trabalho se propõe a avaliar o efeito antioxidante de extratos de suas folhas, obtidos com diferentes solventes, e do óleo essencial de seus frutos, visando o desenvolvimento de aditivos natural e sustentável.

Material e métodos

A coleta do material vegetal (*Schinus terebinthifolius Raddi*) foi realizado no município de Realeza-PR. As folhas foram submetidas à secagem em estufa a 45°C por 24 horas, trituradas e, posteriormente, armazenadas sob refrigeração a 4°C até o momento da utilização. Os frutos foram imediatamente acondicionados em congelador para a preservação de suas propriedades. Os extratos foliares foram obtidos por infusão, seguindo uma metodologia adaptada (Oleinik et al, 2022), utilizando diferentes massas (10, 30 e 50 g/L) em três solventes distintos, etanol 96%, água destilada e uma solução hidroalcoólica 50/50%, nos tempos de extração de 10, 20 e 30 minutos. O óleo essencial foi extraído por hidrodestilação no aparelho clevenger, em conformidade com a metodologia adaptada (Verginaci, 2024). A avaliação da atividade antioxidante dos extratos das folhas e do óleo essencial, foi efetuada pelo método da captura do radical livre DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazila), no comprimento de onda de 515nm. O ensaio foi realizado em triplicata (Oleinik et al, 2022; Oliveira et al, 2014), e a porcentagem de atividade antioxidante (%AA) foi calculada pela equação 1.

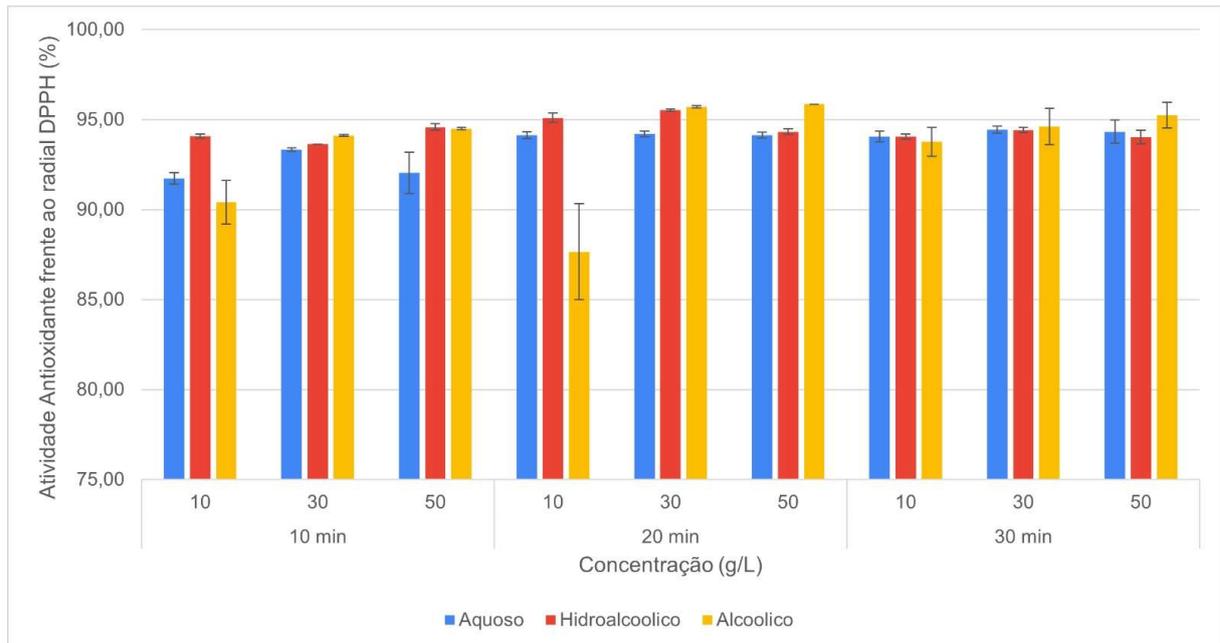
$$\% AA = [(A_{\text{controle}} - A_{\text{extrato}}) \times 100] / A_{\text{controle}} \text{ (Equação 1)}$$

A continuidade do trabalho prevê a determinação de flavonoides por complexação com $AlCl_3$ e a determinação dos fenóis totais com o reagente Folin-Ciocalteu (Oliveira et al, 2014). Subsequentemente, o biodiesel será produzido, para então se proceder aos testes de estabilidade oxidativa, que envolvem a avaliação do potencial antioxidante sob a ação de ferro e cobre, através do índice de acidez (Massetto et al, 2022), e a avaliação da oxidação pelo método rancimat (Oleinik, 2024; Simão et al, 2023), visando o Tempo de Indução (TI) mínimo de 13 horas exigido pela ANP.

Resultados e Discussão

A atividade antioxidante frente ao radical DPPH atingiram captura do radical superior a 85%, nos extratos com concentrações e tempo de extração do estudo em questão. O extrato hidroalcoólico destaca-se pela consistência em todas as variáveis, evidenciando que o solvente misto otimiza a extração de compostos bioativos, com platô próximo a 100% em concentrações acima de 30 g/L. Essa elevada capacidade antioxidante corrobora os achados de Silva et al (2024), que identificaram via cromatografia líquida de alta eficiência, altos teores de compostos fenólicos na farinha das folhas da espécie, kaempferol (267,59; 555,70 e 31,44 mg/100 g), procianidina B2 (148,35; 662,09 e 105,11 mg/100 g), hesperidina (122,48; 179,31 e 17,79 mg/100 g), epicatequina (74,03; 222,05 e 11,19 mg/100 g) e rutina (69,99; 7,16 e 40,34 mg/100 g), moléculas reconhecidas por sua ação antioxidante. Outros estudos reforçam esse potencial, reportando até 82% de inibição DPPH em extratos foliares, além da presença de antocianinas, flavonoides, ácido gálico e taninos hidrolisáveis (Nopkuesuk et al, 2025), consolidando a espécie como fonte promissora de antioxidantes naturais.

Figura 1 - Avaliação da atividade antioxidante dos extratos do farelo das folhas da *Schinus terebinthifolius* Raddi.



Fonte: Zanella, 2025.

Considerações finais

No que diz respeito ao trabalho, os resultados mostraram a forte atividade antioxidante dos extratos frente a captura do radical DPPH. Como perspectivas futuras serão realizados testes para a quantificação de flavonoides e fenóis totais, a fim de relacionar a presença desses compostos a atividade antioxidante, testes de estabilidade oxidativa frente ao ferro e cobre bem como avaliação do tempo de indução do biodiesel aditivado com os extratos, via Rancimat.

Agradecimentos

Agradeço a Universidade Estadual do Centro Oeste (UNICENTRO), a CAPES pela concessão da bolsa, a Universidade federal da fronteira Sul (UFFS) por ceder o espaço e seus aparelhos, ao Grupo de Pesquisa em Energias Renováveis e Sustentabilidade (GPERS) por colaborarem com as atividades desenvolvidas.

Referências

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima. **Relatório anual de acompanhamento da qualidade do ar - 2023**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima, 2024. Disponível em: <http://www.mma.gov.br>.
- CHEN, Yi Hung; LUO, Yu Min. Oxidation stability of biodiesel derived from free fatty acids associated with kinetics of antioxidants. **Fuel Processing Technology**, v. 92, n. 7, p. 1387–1393, jul. 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2011.03.003>.



MASSETTO, Eduardo Vivian; LAZAROTO, Ana Claudia; OLEINIK, Giovanna; LIMA, Fernanda Oliveira; GALLINA, André Lazarin; SOARES, Letiére C. Salicilatos como inibidores do processo oxidativo mediado por cobre e ferro no biodiesel B100. **Química Nova**, v. 45, n. 9, p. 1053-1059, 2022.

NOPKUESUK, Napapuch; KLAMRAK, Anuwachakij; NABNUEANGSAP, Jaran; et al. Hydroethanolic extract of *Schinus terebinthifolia* as a promising source of anti-influenza agents: Phytochemical profiling, cheminformatics, molecular docking and dynamics simulations. **PLoS One**, 2025.

OLEINIK, Giovanna; BENVENÚ, Delilah Engine; SOARES, Letiére Cabreira; DARIO, Priscila Paola; GASPERIN, Katiane de Moraes; LIMA, Fernanda Oliveira; GALLINA, André Lazarin. Avaliação in vitro de extratos antioxidantes do resíduo da semente de *Hevea brasiliensis*. **Scientific Reports**, v. 12, p. 480, 2022.

OLEINIK, Giovanna. **Produção de antioxidante para o biodiesel a partir da casca de semente de HB**. 70 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Química - Mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava. 2024.

SILVA, F. R. da.; SILVA, F. J. L. B. da.; SANTOS, R. de S.; MENDES, M. de L.; GONGORA, B.; LISBOA, F. da S.; SEQUINEL, R. Biodiesel in Brazil: An analysis of production, consumption, and prospects in the energy transition. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 12, n. 11, p. e43121143670, 2023. DOI: 10.33448/rsd-v12i11.43670. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/43670>. Acesso em: 15 jul. 2025.

SILVA, Jordania Candice Costa; SANTOS, Nayane Medeiros; SILVA, Nayara de Sousa; MARTINS, Ana Cristina Silveira; DUTRA, Larissa Maria Gomes; DANTAS, Carlos Eduardo Alves; LIMA, Marcos dos Santos; TAVARES, Josean Fechine; SILVA, Marcelo Sobral da; NASCIMENTO, Yuri Manguera do; SILVA, Evandro Ferreira da; OLIVEIRA, Carlos Eduardo Vasconcelos de; OLIVEIRA, Maria Elieidy Gomes de; PEREIRA, Diego Elias; COSTA, Ana Carolina dos Santos; FREITAS, Juliano Carlo Rufino; SOARES, Juliana Késsia Barbosa; VIERA, Vanessa Bordin. Characterization of flours from the aroeira leaf (*Schinus terebinthifolius* Raddi), obtained by different drying methods. **Journal of Chromatography B**, 2024.

SIMÃO, Caroline.; GOMES, Camila Camargo.; MAIA, Guilherme Arielo Rodrigues.; TRACTZ, Gideã Taques.; IGNACHEWSKI, Franciely.; CUNHA, Maico Taras.; BANCZEK, Everson do Prado. Extrato alcalino dos lúpulos columbus e saaz: antioxidante para biodiesel. **Revista Contemporânea**, [S. l.], v. 3, n. 10, p. 17288–17305, 2023. DOI: 10.56083/RCV3N10-037. Disponível em: <https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/view/1862>. Acesso em: 15 jul. 2025.

VERGINACI, Gabriele; DAL BIANCO, Carolina; GIUSTI, Edneia Durlí; CHENDYNSKI, Letícia Thaís; GOMES, Sandra Inês Adams Angnes. Estudo da estabilidade de uma loção corporal hidratante com óleo essencial de alecrim (*Rosmarinus officinalis* L.). **Revista Brasileira Multidisciplinar**, [S. l.], v. 27, n. 1, p. 57-74, 2024. DOI: 10.25061/2527-2675/ReBraM/2024.v27i1.2007. Disponível em: <https://revistarebram.com/index.php/revistauniara/article/view/2007>. Acesso em: 15 jul. 2025.



SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE CATALISADORES BASEADOS EM ÓXIDOS MISTOS OBTIDOS VIA MÉTODO DE PECHINI PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Taynara Leticia Pereira¹

Karina Benassi Angelelli¹

André Lazarin Gallina²

¹Universidade Estadual de Londrina

²Universidade Estadual do Centro Oeste

Palavras-chave

Óxido de cério, reator de bancada, óxido de zinco, resina, heterogêneo

Resumo

Diante da preocupação ambiental com o contínuo aumento das emissões dos gases contribuintes para o efeito estufa e o esgotamento das reservas de combustíveis fósseis, torna-se essencial a busca por alternativas energéticas mais sustentáveis. O petróleo, embora seja uma fonte naturalmente renovável, apresenta um tempo de regeneração incompatível com o ritmo atual de extração e consumo. Neste contexto, os biocombustíveis surgem como alternativas promissoras, por derivarem de matérias primas renováveis e apresentarem menos impacto ambiental. Dentre os biocombustíveis já consolidados destaca-se o biodiesel, atualmente adicionado ao diesel fóssil em até 15% no Brasil (B15, previsto para 2025). Sua produção industrial é realizada, em grande parte, por meio de catalisadores homogêneos. Entretanto, tais catalisadores demandam grandes volumes de água tanto para a síntese quanto para a purificação do biocombustível, além de apresentarem limitações quanto à reutilização. Nesse cenário, os catalisadores heterogêneos despontam como uma alternativa mais eficiente e ambientalmente adequada, por permitirem fácil separação do produto final, eliminarem a etapa de lavagem com água e possibilitam o reaproveitamento do material catalítico. Diversos estudos vêm explorando óxidos metálicos como catalisadores — como ZrO_2 , CeO_2 , ZnO e TiO_2 — devido às suas propriedades ácido-básicas, versatilidade e atividade em reações termoquímicas.

Introdução

Com o avanço da motorização individual nas últimas décadas, aumentou a preocupação com as emissões de gases de efeito estufa (GEE) decorrentes da queima de combustíveis fósseis. Embora esses gases sejam essenciais para manter o equilíbrio térmico terrestre, sua emissão excessiva tem intensificado fenômenos como o aquecimento global e eventos climáticos extremos (IPCC, 2021; DRUMM, 2014).

Nesse contexto, a busca por fontes de energia renováveis, economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis tornou-se prioridade mundial. A bioenergia, derivada de biomassa



renovável, apresenta grande potencial por reduzir emissões, promover segurança energética e valorizar resíduos orgânicos (REN21, 2023; IEA, 2022). Desde a crise do petróleo na década de 1970, países como o Brasil têm investido na substituição parcial dos combustíveis fósseis por alternativas como etanol, biodiesel e, mais recentemente, biogásolina (IEA BIOENERGY, 2021).

A biogásolina pode ser obtida pela conversão termoquímica de biomassas lignocelulósicas ou óleos vegetais, sendo composta majoritariamente por hidrocarbonetos leves e compostos oxigenados (XIA et al., 2016; ZHAO et al., 2023). O uso de óleos vegetais é uma rota promissora devido à composição rica em triglicerídeos, que, ao passarem por craqueamento térmico ou catalítico, originam frações semelhantes aos combustíveis fósseis, como gasolina e diesel (TAUFIQURRAHMI et al., 2011).

Entretanto, o emprego de catalisadores homogêneos, como hidróxidos de sódio e potássio, gera resíduos e demanda grande volume de água para purificação. Como alternativa, catalisadores heterogêneos — especialmente os à base de óxidos metálicos — destacam-se pela possibilidade de reutilização, maior estabilidade térmica e menor impacto ambiental (ZHAO et al., 2023). Dentre esses, os óxidos de zircônio (ZrO_2), zinco (ZnO) e cério (CeO_2) apresentam propriedades ácido-básicas ajustáveis e elevada área superficial, favorecendo reações termoquímicas. A combinação desses materiais, como nos sistemas ZrO_2-ZnO e ZrO_2-CeO_2 , resulta em catalisadores sinérgicos e estáveis, capazes de converter óleos vegetais em hidrocarbonetos com características similares aos combustíveis fósseis, mas provenientes de fontes renováveis (ZHAO et al., 2023).

Material e métodos

Produção do catalisador:

Para produção do catalisador será dissolvido o nitrato de zirconila em água destilada e juntamente o nitrato do óxido de interesse (nitrato de zinco e nitrato de cério). Após a dissolução, sob agitação, adicionar o ácido cítrico aos poucos e aquecer a $60^\circ C$, em seguida será adicionado lentamente o etileno glicol e elevado a temperatura $80^\circ C$. Após a formação da resina, a mesma será transferida para um recipiente e levado à mufla, para pré calcinação, à $110^\circ C$ por 12 - 16 horas. Após a pré calcinação o material será submetido à maceração com um pistão e cadinho, com o material triturado o material será levado a calcinação a $550^\circ C$ por 3 horas para decompor os precursores orgânicos e formar o catalisador.

Produção do biocombustível:

Proposto por Quirino em 2006. O craqueamento do óleo de girassol será realizado, em triplicata, utilizando um balão de vidro de fundo redondo com 3 bocas sobre uma manta aquecedora, no balão em uma das bocas será inserido termopar para o controle da temperatura e na outra boca um condensador. No balão de 3 bocas será adicionado 100 ml de óleo de soja e 1g do catalisador preparado anteriormente. O balão será submetido a aquecimento variando a temperatura, a qual será controlada com a inserção de um termômetro inserido em contato com o óleo. Na saída do condensador será acoplado um erlenmeyer destinado à coleta da primeira fração condensada, composta majoritariamente por compostos mais pesados. Na sequência, esse erlenmeyer estará conectado a um kitassato contendo metanol, cuja função é capturar os compostos orgânicos voláteis (COVs) ou aqueles que apresentem solubilidade parcial no metanol, sendo posteriormente analisados. Por fim, à saída do kitassato será acoplado outro erlenmeyer



imerso em banho de gelo, responsável pela condensação e coleta das frações mais leves e voláteis remanescentes, garantindo a completa retenção dos produtos provenientes da reação.

Caracterização do catalisador:

- Para avaliação da morfologia do catalisador o catalisador será submetido a Microscopia eletrônica de varredura (MEV). Para avaliação química da superfície do catalisador será submetido a Espectroscopia de energia dispersa (EDS). Para avaliação da estrutura cristalina e para avaliar se houve formação de fases mistas será submetido a Difração de Raio X (DRX). Para medir a área superficial e a porosidade será feito o Brunauer–Emmett–Teller (BET). Para avaliar a estabilidade térmica e avaliar se os precursores foram eliminados na calcinação será feito a Termogravimetria e sua derivada (TG/DTG).

Caracterização do biocombustível:

Para avaliar os biocombustíveis formados as amostras serão submetidas a cromatografia gasosa com espectrometria de massa acoplada com o objetivo de identificar as frações formadas.

Para avaliar a estabilidade oxidativa dos biocombustíveis formados, as amostras serão submetidas ao Rancimat, modelo 873, marca Metrohm, as amostras serão submetidas a 110° C.

Para os testes físico químicos:

- Teor de água: As análises de teor de água são feitas por Kall Fisher.
- Massa específica: Para realizar o ensaio de massa específica uma proveta limpa e seca será levada a balança e a mesma zerada, após será inserido com o auxílio de uma pipeta graduada um volume de amostra conhecido e então a proveta pesada novamente, para se obter a massa de amostra, com esse resultado a fórmula: de massa específica: massa da amostra registrada pela balança/volume de amostra conhecido
- Condutividade: A condutividade será medida utilizando um condutímetro da marca Degimed, o eletrodo do equipamento é inserido na amostra até a estabilização da leitura

Resultados e Discussão

Catalisador:

Espera-se que o catalisador seja eficiente em auxiliar na conversão do óleo de girassol em frações de biocombustível.

Espera-se que o catalisador apresenta morfologia homogênea com os óxidos de interesse disponíveis na superfície, que apresente poros de diâmetros eficientes para maior superfície de contato do catalisador com o óleo. Espera-se que o catalisador apresenta fases mistas entre os óxidos. Espera-se que o catalisador apresenta boa estabilidade térmica e que todos os precursores orgânicos sejam eliminados demonstrando eficácia na calcinação.



Biocombustível

Espera-se uma conversão significativa de óleo de girassol em biocombustíveis líquidos.

Espera-se que o biocombustível cumpra as exigências quanto aos ensaios físico-químicos da agência nacional de petróleo e gás natural

Referências

GARCÍA-SANCHO, C.; FÚNEZ-NÚÑEZ, I.; MORENO-TOS, R.; et al. Structural and surface study of γ -Al₂O₃-ZrO₂-CeO₂-TiO₂ composite catalysts for glycerol etherification. *Applied Catalysis B: Environmental*, v. 206, p. 617–625, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092633731730556X>. Acesso em: 7 jul. 2025.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. *World Energy Outlook 2022*. Paris: IEA, 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>. Acesso em: 7 jul. 2025.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the IPCC*. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em: 7 jul. 2025.

MENDOZA-OLIVEIRA, V.; et al. Esterification of fatty acids from vegetable oils using heterogeneous acid catalysts and microwave irradiation. *Química Nova*, v. 38, n. 10, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jqn/a/XYZ>. Acesso em: 7 jul. 2025. (*exemplo de formatação; substitua pelo link correto do artigo que você usará*)

NAJ I, S. Z.; TYE, C. T.; ABD, A. A. State of the art of vegetable oil transformation into biofuels using catalytic cracking technology: recent trends and future perspectives. *Process Biochemistry*, jun. 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/319420566_State_of_the_art_of_vegetable_oil_transformation_into_bi_ofuels_using_catalytic_cracking_technology_Recent_trends_and_future_perspectives. Acesso em: 7 jul. 2025.

REN21. *Renewables Global Status Report*. Paris: REN21 Secretariat, 2023. Disponível em: <https://www.ren21.net/reports/global-status-report>. Acesso em: 7 jul. 2025.

WANG, J.; LI, G.; LI, Z.; TANG, C.; et al. A highly selective and stable ZnO-ZrO₂ solid solution catalyst for CO₂ hydrogenation to methanol. *Science Advances*, v. 3, n. 10, e1701290, 2017. Disponível em: <https://www.science.org/doi/full/10.1126/sciadv.1701290>. Acesso em: 7 jul. 2025.

ZHAO, Y.; et al. Tuning the selectivity of natural oils and fatty acids/esters deoxygenation to biofuels and fatty alcohols: a review. *Green Energy & Environment*, v. 8, n. 3, p. 722–743, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gee.2022.03.001>. Acesso em: 7 jul. 2025.



ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA BIOMASSA RESIDUAL DA COLHEITA FLORESTAL PARA PRODUÇÃO DESCENTRALIZADA DE BIOCOMBUSTÍVEL SÓLIDO

Clayton Lima dos Santos¹

Amarildo Hersen²

^{1,2}Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná - UNICENTRO

Palavras-chave

Energias renováveis, geração distribuída, colheita de pinus, cavaco para energia.

Resumo

O objetivo da pesquisa é analisar a viabilidade econômica da biomassa residual da colheita florestal para produção de cavaco para fins de energia em áreas de plantação de pinus na Região de Guarapuava-PR. Metodologicamente a pesquisa é de natureza aplicada, de objetivo descritivo e abordagem quantitativa e o procedimento técnico é o estudo de caso. O inventário de resíduos florestais se dá por processo de amostragem sistemática e as métricas e indicadores utilizados para a análise de viabilidade econômica de projetos são: VPL, TIR e Pay-back descontado. Em relação aos resultados, espera-se identificar viabilidade econômica na produção de cavaco a partir de resíduos florestais, de florestas de pinus, e assim abrir caminho e contribuir para a expansão da geração distribuída de biocombustíveis para fins de energia.

Introdução

De acordo com a Ibá (2025), o setor florestal atingiu a marca de 10,5 milhões de hectares de floresta plantada e conserva aproximadamente 7 milhões de hectares de vegetação natural, o que posiciona o setor brasileiro de árvores cultivadas como uma referência mundial em bioeconomia em larga escala, com práticas que vão do manejo responsável de suas florestas à descarbonização de suas fábricas. Se somadas, as áreas conservadas e plantadas pelo setor, estocam cerca de 5,09 bilhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO₂eq).

Em relação à distribuição dos plantios florestais pelo território brasileiro, segundo a Ibá (2025), os principais estados são Minas Gerais (MG), Mato Grosso do Sul (MS), São Paulo (SP), Paraná (PR) e Santa Catarina (SC), todos com áreas superiores a 1 milhão de hectares, tendo a predominância das espécies de pinus e eucalipto. A área total plantada de eucalipto no Brasil atingiu 8,1 milhões de hectares em 2024, sendo essa a principal cultura florestal do país. A região Sudeste lidera, concentrando 43% das plantações, cerca de 3,5 milhões de hectares, seguida pelo Centro-Oeste, com aproximadamente 22% do total nacional. Os plantios de pinus no Brasil mantiveram 1,9 milhão de hectares em 2024. Ao contrário do eucalipto, cuja distribuição geográfica é mais ampla, 89% dos plantios de pinus estão concentrados na região Sul do Brasil, o que equivale a aproximadamente 1,69 milhão de hectares.



Os resíduos florestais podem ser caracterizados como aqueles gerados e rejeitados na floresta devido às atividades da colheita da madeira. Reúne todo material resultante da exploração da madeira e que permanece no campo sem aproveitamento definido como galhos, cascas, copas, árvores com diâmetro inferior ao mínimo comercial, árvores doentes, mortas, tocos e raízes (Souza, 2010).

Estima-se que aproximadamente 20% da massa das árvores são deixados nos locais de colheita, sendo descartados e deixados no meio ambiente, na maioria das vezes gerando problemas ambientais. Entende-se que os resíduos oriundos do ambiente florestal representam entre 30 e 35% da madeira que é destinada para fins industriais e aproximadamente 5% do volume de madeiras destinada para fins energéticos (Silva; Oshiro, 2017).

A maior parte dos estudos na literatura sobre o aproveitamento de resíduos florestais foca naqueles gerados nas indústrias, na etapa de desdobro da madeira, e não nos que são deixados no campo durante a colheita (Pontes et al., 2012). Nesse contexto, a pesquisa proposta tem como objetivo específico analisar a viabilidade econômica de transformar a biomassa residual da colheita florestal de plantações de *Pinus* na Região de Guarapuava-PR em cavaco para uso energético.

Material e métodos

A pesquisa configura-se como sendo de natureza aplicada, que segundo Silveira e Córdova (2009) objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Com relação à forma de abordagem, a pesquisa é quantitativa, com uso de métrica e indicadores específicos para o seu propósito.

Quanto ao procedimento técnico, ou seja, a maneira pela qual são obtidos os dados para o presente estudo, faz-se uso de estudo de caso que segundo Lasta (2018) se caracteriza pelo estudo profundo e exaustivo de um objeto de pesquisa, com a intenção de se conhecer de maneira ampla e detalhada.

Os resíduos florestais são gerados e deixados na floresta em função das atividades de colheita madeireira. Para Almeida (2016), é composto de todo o material decorrente da exploração madeireira e que permanece sem destino estabelecido. Os resíduos gerados após a atividade de colheita florestal podem variar entre 10 a 120 t ha⁻¹, dependendo do tipo de espécie, idade, espaçamento, sistema de colheita, bem como a condição climática e do solo (Sankaran et al., 2008).

Para qualificar e quantificar o resíduo florestal, se recorre à realização de inventário. O inventário de resíduos florestais possibilita, por processo de amostragem, informações sobre a quantidade e os tipos de resíduos presentes na área estudada. A amostragem utilizada é a sistemática, com parcelas em formato quadrado ou retangular (a depender do tipo de espaçamento), com dimensões e áreas pré-definidas, conforme Vatrax e Borges (2019) e Higa et al. (2014).

Já para a análise de viabilidade, se pretende trabalhar com taxa real e preço constante, ou seja, excluir o efeito da inflação nos preços e para tanto os preços devem se referir a um único momento no tempo. Assim todos os preços levantados (insumos, salários, serviço de manutenção, etc.) corresponderão à mesma data. Esses preços contribuirão para se definir os valores das entradas e saídas de caixa (fluxo de caixa). É a partir do fluxo de caixa projetado que se realiza a análise de viabilidade econômica do projeto. A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) é a taxa considerada a mínima possível



para um investimento ser atrativo. De acordo com Abreu Filho e Cury (2018) a TMA, é definida como a taxa de juros que o capital seria remunerado em uma outra melhor alternativa de utilização, desconsiderando o projeto em estudo.

Utilizou-se o método do Valor Presente Líquido (VPL) com a finalidade de calcular, em termos de valor presente, o impacto de eventos futuros associados a alternativa de investimento, em suma, medir o valor presente dos fluxos de caixa gerados pelo projeto ao longo de sua vida útil (Samanez, 2009). A Taxa Interna de Retorno (TIR) objetiva encontrar uma taxa intrínseca de rendimento, ela não possui como finalidade a avaliação da rentabilidade absoluta a determinado custo de capital como o VPL. Por definição a TIR é a taxa de retorno do investimento (Samanez, 2009). Segundo Camargo (2007), o Pay-back é o tempo necessário para recuperar o investimento inicial, sendo que os fluxos são descontados pela TMA. Assim o Pay-back descontado é atingido quando o Valor Presente dos fluxos positivos se igualar ao Valor Presente dos fluxos negativos.

Resultados e Discussão

Segundo Vatrás e Borges (2019), que avaliaram a quantidade e qualidade de resíduos de colheita de *Pinus taeda* e *elliottii*, com sistema de colheita semimecanizado no Estado do Paraná, após elaboração de inventário os autores verificaram que os resíduos produzidos correspondiam a mais de 10% do volume total de madeira comercial. Assim, os resíduos da colheita apresentam volume e têm potencial de serem estudados para aproveitamento como combustível sólido.

Os resultados esperados para a presente pesquisa são de identificar viabilidade econômica na produção de cavaco a partir de resíduos florestais, de floresta plantada de pinus, e abrir caminho e contribuir para a expansão da geração distribuída de biocombustíveis para fins de energia.

Considerações finais

A presente pesquisa tem potencial contributivo para mudança importante no destino dado atualmente aos resíduos da colheita de floresta plantada de pinus, podendo resultar em benefício não somente econômico, mas também ambiental, por estimular o uso de combustível de fonte renovável.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências

- ALMEIDA, O. B. **VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS FLORESTAIS**. 96f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Silvicultura e Manejo Florestal. Universidade de São Paulo, Piracicaba-SP, 2016.
- CAMARGO, C. **Análise de investimentos e demonstrativos financeiros**. Curitiba, IbpeX: 2007.
- ABREU FILHO, J. C. F.; CURY, M. V. Q. **Análise de Projetos de Investimento**. Rio de Janeiro: FGV, 2018.



IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DA ÁRVORE. **Relatório Anual. 2025.** Disponível em: <https://iba.org/publicacoes/relatorios-aneais> . Acesso em 20 out. 2025.

HIGA, R. C. V.; CARDOSO, D. J.; ANDRADE, G. C.; ZANATTA, J. A.; ROSSI, L. M. B.; PULROLNIK, K.; NICODEMO, M. L. F.; GARRASTAZU, M. C.; VASCONCELOS, S. S.; SALIS, S. M. **Protocolo de medição e estimativa de biomassa e carbono florestal.** 1 Ed. Embrapa Florestas: Colombo, 2014.

LASTA, T. T. **Metodologia e técnicas de pesquisa em economia.** Indaial: UNIASSELVI, 2018.

PONTES, S. M. A.; AFONSO, D. G.; NASCIMENTO, D. L. Análise comparativa das propriedades físico-mecânicas da madeira de galho e fuste de 02 espécies florestais com potencial madeireiro. In: CONGRESSO FLORESTAL PARANAENSE, 4., 2012, Curitiba, 2012. **Anais...** Curitiba: Congresso Florestal Paranaense, 2012.

SAMANEZ, C. P. **Engenharia Econômica.** São Paulo: Person Prentice Hall, 2009.

SANKARAN, K. V.; MENDHAM, D. S.; CHACKO, K. C.; PANDALAI, R. C.; PILLAI, P. K. C.; GROVE, T. S.; O'CONNELL, A. M. Impact of Site Management Practices on Growth of Eucalyptus Plantations in the Monsoonal Tropics in Kerala, India. In: NAMBIAR, E. K. S. **Site management and productivity in tropical plantation forests.** Bogor, Indonésia: Center for International Forestry Research (CIFOR), 2008.

SILVA, D. A.; OSHIRO, C. R. **Energias naturais renováveis.** Curitiba: UFPR/PECCA, 2017. 117p. (Apostila)

SILVEIRA, D. T.; CÓRDOVA, F. P. Unidade 2: a pesquisa científica. In: GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (orgs.). **Métodos de pesquisa.** Porto Alegre: UFRGS, 2009.

SOUZA, M. M. **Caracterização e viabilidade econômica do uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus Taeda* L.** 2010. 77f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR, 2010.

VATRAZ, S.; BORGES, F. Q. Análise de resíduos florestais após colheita semimecanizada em um plantio de coníferas no Paraná. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 12, n. 1, p. 65-80, 2019.



CONVERSÃO DE BIOMASSA ARBÓREA E RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL NA PRODUÇÃO DE BIOCARVÃO, GÁS E OLEO UTILIZANDO A PIRÓLISE NA CIDADE DE MARINGÁ-PR

¹Fabricio Hernandes de Freitas

¹Orientador: Pedro Augusto Arroyo

¹Universidade Estadual de Maringá

Palavras-chave

Pirólise, árvores, resíduos, carbonização.

Resumo

O ponto central desta tese surgiu diante de um problema comum em quase todas as cidades, ausência de planejamento na gestão dos resíduos arbóreos. Com a cidade de Maringá (PR) não seria diferente, sendo considerada uma das cidades mais arborizadas do país, e juntamente com as árvores surgem as transformações urbanas, como as edificações, ruas, calçadas, fiação elétrica nas vias entre outras. Juntamente com um volume expressivo de resíduo vindo da poda e remoção das árvores vem a destinação dos resíduos da construção civil, em especial da madeira, objeto do nosso estudo.

Assim, a utilização de resíduos para a produção de carvão pode reduzir, de sobremaneira, a pressão sobre as florestas para este fim.

Felix *et al.*, 2017 analisa que a América Latina possui um quadro respeitável no potencial de produção de biomassa, tendo se destacado principalmente pela utilização de seus resíduos. O Brasil se destaca na geração de energia elétrica vindas desta fonte renovável.

A biomassa residual proveniente da madeira é produzida em todo o mundo, e ela precisa ser reutilizada para evitar problemas ambientais, sendo o biochar um produto sólido obtido de materiais com alto teor de carbono sob altas temperaturas na ausência total ou parcial de oxigênio (BARREIRO *et al.*, 2023).

Introdução

A madeira é responsável por suprir a demanda energética de aproximadamente 2,4 milhões de pessoas ao redor do mundo (BRITO, 2007). O anseio mundial por biocombustíveis é cada mais forte, e isto faz com que a biomassa vinda dos resíduos florestais, madeiras de descarte e resíduos agrícolas se destaquem, tornando esta busca por energia mais limpa e menos poluente possível. Eles são produzidos em grandes volumes no mundo todo, e seu poder energético é gerido sem os problemas que outras fontes renováveis como o sol e a eólica, que dependem das condições climáticas para sua exploração (KAN *et al.*, 2016).

A pirólise é uma alternativa a este problema devido a sua versatilidade em a obtenção de produtos líquidos, sólidos e gasosos, dependendo dos parâmetros operacionais Czajczynsk *et al.*, (2017). O uso da madeira para bioenergia pode ser feita usando a madeira inteira, assim como seus resíduos gerados. Estes resíduos se destacam devido à redução das emissões em aterros e lixões, custos decorrentes do descarte e pela falta de gerenciamento de resíduos em geral. O desperdício de biomassa vindas da



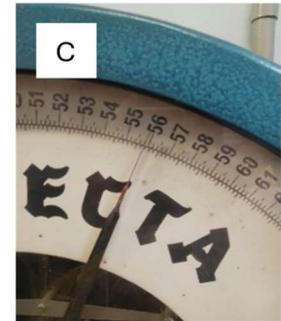
madeira é notável, observado pelos grandes volumes gerados na construção civil, indústrias e supressão vegetal. A escolha de processos como a pirólise usando madeira tendem a ter bons resultados no segmento da bioenergia Santos *et al.*, (2019).

A cidade de Maringá gerou uma média de 970 toneladas mensais de madeira de poda da arborização viária, dado referente ao período de novembro de 2010 a abril de 2011, esse número se refere as arvores que vão para o aterro, pois galhos finos e folhas são triturados *in loco* (LUZ, 2012).

Material e métodos

O trabalho começa pela manhã com uma mensagem via whatsapp para o encarregado da poda e remoção da Prefeitura de Maringá-Pr, perguntando qual espécie arbórea eles irão cortar. Caso seja uma espécie pertinente ao estudo, o encarregado me fornece o endereço. O material é coletado e colocado em sacos de ráfia. As podas e coleta de material são sempre em dias de sol. O próximo passo é levar as amostras para a Universidade Estadual de Maringá, onde pesados em uma balança analógica e levados para secar por 15 dias em local aberto, boa ventilação natural e sol da tarde. No fim do dia, as amostras são cobertas com lona, para não correr o risco de chover e molhar as amostras. As amostras usadas neste trabalho serão galhos com diâmetro entre 3 a 5 centímetros com tamanho aproximado de 30 a 50 centímetros. As imagens a seguir corroboram as informações citadas. O reator pirolítico, que foi desenvolvido a partir de um tambor metálico de 200L foi pensando para ser uma construção é simples e econômica, permitindo a ampla utilização da pirólise de biomassa sem a necessidade de conhecimento técnico especializado ou infraestrutura dedicada. O processo pode ser caracterizado como "pirólise lenta", chegando a aproximadamente a 450°C.

Figura 1 - (A) início da poda, (B), acondicionamento dos galhos em saco de ráfia, (C) pesagem, (D) secagem das amostras, (E) galhos dentro do reator de pirólise.



Fonte: Autor, 2025.

Resultados e Discussão

A figura 2 (A) mostra o processo de carbonização da madeira finalizado, a imagem (B) mostra o começo da carbonização da madeira, com a produção de gás de pirólise em alta temperatura, a imagem (C) mostra o a coleta, de maneira preliminar do gás e a imagem (D) mostra a temperatura dentro do reator. Lembrado que são resultados preliminares.



A



B



C



D

Fonte: Autor, 2025



Considerações finais

Ainda não temos, pois estamos na fase de desenvolvimento e produção do equipamento, mas os testes se mostraram promissores.

Agradecimentos

Capes, Fernandinho e Donizete, servidores da UEM responsáveis por me ajudar a produzir o equipamento.

Referências

BARREIRO, A. C; GÓMEZ, N; ARIAS, J. G; LIÉBANA, N. O; ANDRÉS, F. G; JIMÉNEZ, A. J. C. **Scaling-Up of the Production of Biochar from Olive Tree Pruning for Agricultural Use: Evaluation of Biochar Characteristics and Phytotoxicity.** Agriculture 2023. <https://doi.org/10.3390/agriculture13051064>.

BRITO, J. A. **O uso energético da madeira.** Estudos Avançados 21-59, 2007.

CZAJCZYNSKA, D; L. ANGUILANO; H. GHAZAL; R. KRZYZYNSKA; A.J. REYNOLDS; N. SPENCER; H. JOUHARA. **Potential of pyrolysis processes in the waste management sector.** Thermal Science and Engineering Progress 3 (2017).

FELIX, C. R. O; JUNIOR, A. F. A; FREITAS, C. C; PIRES, C. A. M; TEIXEIRA, V; FRETU, R; BRANDAO, S. T. **Pirólise rápida de biomassa de eucalipto na presença de catalisador Al-MCM-41.** REVISTA MATÉRIA ISSN 1517-7076 artigo e-11915, 2017.

KAN, T; STREZOV, V; EVANS, T. J. **Lignocellulosic biomass pyrolysis: A review of product properties and effects of pyrolysis parameters.** [Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 57](#), May 2016.

LUZ, S; **Aproveitamento de madeiras de podas da arborização urbana: áreas do traçado inicial de Maringá/pr.** Universidade estadual de Maringá centro de tecnologia departamento de engenharia civil, programa de pós-graduação em engenharia urbana, 2012.

SANTOS, A. M; MELO, A. A; QUEIROZ, A; GUIMARÃES, L; CONSOLARO, H. N; SARMENTO, A. P. **Aproveitamento dos Resíduos de Madeira para Geração de Bioenergia.** Revista Processos Químicos, Jul / Dez de 2019.



PRODUÇÃO BIOLÓGICA DE HIDROGÊNIO POR ANABAENA SPP. E MICROCYSTIS SPP.: CULTIVO CONTROLADO PARA APLICAÇÕES ENERGÉTICAS SUSTENTÁVEIS

Marina Duarte Fernandes de Souza Lima¹

Cynthia Furstemberger¹

¹Universidade Estadual do Centro-Oeste

Palavras-chave

Biohidrogênio, Cianobactérias, Anabaena spp., Microcystis spp., Bioenergia.

Resumo

A busca por fontes de energia renováveis e sustentáveis tem direcionado atenção crescente à produção biológica de hidrogênio (H_2), uma alternativa limpa e promissora para a transição energética (Singh et al., 2016). O presente trabalho tem como objetivo avaliar a produção de hidrogênio por culturas puras das cianobactérias *Anabaena* spp. e *Microcystis* spp. sob diferentes condições de cultivo e intensidade luminosa. A pesquisa propõe o cultivo experimental em meios BG-11 e BG-11-N, sob variação controlada de luminosidade e manejo das fases aeróbica e anaeróbica, visando identificar parâmetros que maximizem a produção de H_2 . A espécie *Anabaena* spp. apresenta potencial de liberação de hidrogênio associado à atividade da nitrogenase em células heterocísticas, enquanto *Microcystis* spp., desprovida de heterocistos, pode gerar H_2 por vias fermentativas (Sant'Anna C.L. et al., 2006). A produção será quantificada por cromatografia gasosa (GC-TCD) e correlacionada a parâmetros fisiológicos e ambientais. Além disso, será realizado o acompanhamento visual dos cultivos quanto à coloração, formação de bolhas, floculação ou sinais de contaminação. Os dados obtidos serão tratados estatisticamente a fim de verificar a significância das diferenças entre os tratamentos testados. Espera-se observar maior rendimento de H_2 em cultivos de *Anabaena* spp. sob carência de nitrogênio, e respostas diferenciadas de *Microcystis* spp. em meios eutrofizados. O estudo contribuirá para o avanço do conhecimento sobre a produção de hidrogênio verde e para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis voltadas à geração de energia limpa.

Introdução

A transição energética para fontes de energias renováveis tem sido uma prioridade global diante da intensificação das mudanças climáticas e emissões de CO_2 . O hidrogênio produzido por processos que não emitem gases de efeito estufa, como a eletrólise da água ou a conversão de biomassa, destaca-se como vetor energético estratégico para aplicações em transporte, armazenamento e geração de energia.

A produção biológica de H_2 , mediada por micro-organismos fotossintéticos, surge como uma rota sustentável e de baixo custo ambiental (Bezerra et al., 2022; Ahmed et al., 2022). A cianobactéria da espécie *Anabaena* spp. tem se destacado como alternativa de energia limpa, devido à sua capacidade de fixar hidrogênio por meio de células chamadas heterocistos. Estas células criam um ambiente anaeróbico, onde a enzima nitrogenase converte N_2 em amônia, liberando H_2 como subproduto. Já a



espécie *Microcystis* spp., ainda que não possua heterocistos, apresenta potencial para produção de H_2 por vias fermentativas sob condições anaeróbicas (Sant'Anna et al., 2007; Singh et al., 2016). Ambas as espécies são comuns em ambientes eutrofizados, onde ocorre o aumento excessivo de nutrientes, promovendo o crescimento descontrolado de algas e cianobactérias (Lee, 2008).

Este projeto propõe o cultivo experimental controlado de *Anabaena* spp. e *Microcystis* spp. em diferentes condições de luminosidade e formulações do meio de cultura, com o objetivo de otimizar a produção de hidrogênio. A intensidade luminosa, a composição nutricional do meio e o manejo das fases aeróbica e anaeróbica serão testados como variáveis para maximizar o rendimento de H_2 . A compreensão de como esses efeitos influenciam a produção de hidrogênio por essas espécies pode oferecer avanços significativos à bioenergia e à sustentabilidade energética.

Material e métodos

As amostras in natura serão coletadas em pontos previamente definidos e submetidas à pré-filtragem com peneira fina ou gaze estéril para a remoção de sólidos grosseiros, para posterior caracterização quanto a parâmetros físico-químicos, com base nas metodologias da American Public Health Association (APHA, 2022)

1. Preparação dos Meios de Cultivo e amostras

Inicialmente, serão preparados dois tipos de meio de cultivo: o meio BG-11 completo e sem nitrogênio (BG-11-N). A preparação do meio BG-11, envolve a dissolução de sais inorgânicos e micronutrientes em água destilada. Ambos serão esterilizados em autoclave a $120\text{ }^\circ\text{C}$ por 15 min.

2. Condições de cultivo e Crescimento Aeróbico

O cultivo das cianobactérias será conduzido em frascos de vidro com 10% de inóculo ativo, sob três condições distintas de luminosidade: Baixa intensidade luminosa: $60\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; Média intensidade luminosa: $100\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$; Alta intensidade luminosa: $150\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$.

Essas intensidades serão controladas por lâmpadas LED de espectro branco contínuo, com fotoperíodo de 12 horas de luz e 12 horas de escuro. O experimento será conduzido a $28 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ com agitação constante a 80–120 rpm ou agitação manual três vezes ao dia. O crescimento será monitorado por Densidade óptica a 680 nm (OD_{680}); Teor de clorofila; pH; Condutividade; Turbidez; Análise visual e microscópica da morfologia das células. O objetivo desta fase é avaliar o impacto da intensidade luminosa no crescimento celular, produção de biomassa e condição fisiológica da cultura.

3. Indução da Produção de Hidrogênio (Fase Anaeróbica)

Ao final da fase aeróbica, inicia-se a fase anaeróbica para induzir a produção de hidrogênio por purga com N_2 para remoção do oxigênio dissolvido, com posterior incubação sob luz contínua ou no escuro por 24–72 h. A produção de H_2 será quantificada por cromatografia gasosa com detector de condutividade térmica (GC-TCD), sendo expressa em $\text{mL } H_2\ \text{L}^{-1}\ \text{h}^{-1}$. Os dados serão tratados estatisticamente, correlacionado a produção de H_2 às variáveis de cultivo e às diferenças fisiológicas entre as espécies.

4. Análises Complementares e Indicadores de Biorremediação

Durante os experimentos, serão realizadas análises para avaliar o desempenho fisiológico da cultura e correlacionar com a produção de hidrogênio. O crescimento celular será monitorado por



densidade óptica (OD_{680}) e teor de clorofila-a por extração com etanol ou metanol. A formação de heterocistos será avaliada por microscopia óptica e ainda os parâmetros do meio, como pH, condutividade e turbidez, serão acompanhados ao longo dos cultivos. A produção de hidrogênio será quantificada por cromatografia gasosa (GC-TCD) em diferentes tempos da fase anaeróbica, expressa em $H_2 L^{-1} h^{-1}$. Além disso, será realizado o acompanhamento visual dos cultivos quanto à coloração, formação de bolhas, floculação ou sinais de contaminação. As amostras serão periodicamente observadas ao microscópio óptico para avaliação morfológica das células e integridade do cultivo. Os dados obtidos serão tratados estatisticamente a fim de verificar a significância das diferenças entre os tratamentos testados.

Resultados Esperados

Espera-se que as cianobactérias *Anabaena* spp. e *Microcystis* spp. apresentem crescimento satisfatório nos meios (BG-11 e BG-11-N). Quanto à produção de hidrogênio, espera-se que *Anabaena* spp. apresente maior rendimento, especialmente nos cultivos sem nitrogênio (BG-11-N), devido à indução da formação de heterocistos e à ativação da via de fixação biológica de nitrogênio. Como subproduto dessa via, prevê-se a liberação de hidrogênio molecular, com taxas mensuráveis entre 0,2 e 2,0 mL/L/h, valores compatíveis com dados já reportados em estudos para cultivos em pequena escala (Zayadan et al., 2021). Já *Microcystis* spp., apesar de não possuir heterocistos, poderá apresentar produção de H_2 por fermentação em condições anaeróbicas, especialmente em meios ricos em matéria orgânica. A resposta de *Microcystis* permitirá avaliar o potencial de produção de hidrogênio por rotas metabólicas alternativas. Estatisticamente, espera-se que ambas as espécies apresentem diferentes eficiências, com *Anabaena* spp. se destacando em ambientes pobres em nitrogênio e *Microcystis* spp. em ambientes mais eutrofizados.

Considerações finais

O cultivo controlado de *Anabaena* spp. e *Microcystis* spp. sob diferentes intensidades luminosas e condições nutricionais pode fornecer informações relevantes sobre os mecanismos fisiológicos e metabólicos envolvidos na produção biológica de hidrogênio. Os resultados esperados poderão contribuir para o aprimoramento de tecnologias sustentáveis de geração de energia limpa, além de consolidar o uso de cianobactérias em sistemas de produção de biohidrogênio.

Agradecimentos

A autora agradece à orientadora Prof.^a Dra. Cynthia Furstenberger pela supervisão, ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia (PPGB/UNICENTRO) pelo apoio técnico-científico e à PROPESP pelo incentivo à pesquisa.

Referências

AHMED, S. F. et al. Biohydrogen production from wastewater-based microalgae: progresses and



challenges. **International Journal of Hydrogen Energy**, [s.l.], v. 47, n. 88, p. 37321–37342, 30 out. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2021.09.178>..

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 24. ed. Washington: APHA, 2022.

BEZERRA, R. P. et al. Hydrogen production by cyanobacteria under nitrogen-limiting conditions: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [S.l.], v. 156, p. 111968, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111968>.

CHENG, D. et al. Simultaneous hydrogen production and wastewater treatment by combining anaerobic fermentation with microalgal cultivation. **Bioresource Technology**, [S.l.], v. 340, p. 125702, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125702>.

DAS, D.; VEZIROGLU, T. N. Hydrogen production by biological processes: a survey of literature. **International Journal of Hydrogen Energy**, [S.l.], v. 26, n. 1, p. 13–28, 2001. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0360-3199\(00\)00058-2](https://doi.org/10.1016/S0360-3199(00)00058-2).

KUMAR, A. et al. Wastewater as a resource: a review on different treatment approaches for hydrogen production. **Fuel**, [S.l.], v. 341, p. 127764, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.127764>.

OLIVEIRA, C. R. de et al. Produção de hidrogênio por micro-organismos: uma alternativa sustentável para a geração de energia. **Revista Virtual de Química**, [S.l.], v. 11, n. 2, p. 439–457, 2019. Disponível em:

<https://doi.org/10.21577/1984-6835.20190031>. Acesso em: 23 jul. 2025.

SÁNCHEZ, M. et al. Wastewater-grown microalgae for hydrogen and biomass production. **Renewable Energy**, [S.l.], v. 179, p. 1967–1975, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.07.048>.

SANT’ANNA, C.L.; AZEVEDO, M.T.P.; AGUJARO, L.F.; CARVALHO, M.C.; CARVALHO, L.R.; SOUZA, R.C.R. **Manual ilustrado para identificação e contagem de cianobactérias planctônicas de águas continentais brasileiras**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2006. 53 p.

SINGH, J. S. et al. Cyanobacteria: a precious bio-resource in agriculture, ecosystem, and environmental sustainability. **Frontiers in Microbiology**, [S.l.], v. 7, p. 529, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00529>.

TAK, S. S. et al. Emerging technologies for hydrogen production from wastewater. **International Journal of Hydrogen Energy**, [S.l.], v. 47, n. 88, p. 37282–37301, 30 out. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2022.06.225>.

ZAYADAN, B. et al. Production of biohydrogen from cyanobacteria: current challenges and opportunities. **International Journal of Biology and Chemistry**, [S.l.], v. 14, n. 1, p. 4–20, 2 jul. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.26577/ijbch.2021.v14.i1.01>.



BIOGÁS EM PEQUENA ESCALA EM RORAIMA

Roniel Rodrigues Rocha¹, Pedro Henrique W. Neto², Jaime Alberto Gomes², Sandra Regina Masetto Antunes³

¹ Programa de Pós-graduação em Bioenergia, Secretaria de Educação e Desporto do Estado de Roraima.

² Programa de Pós-graduação em Bioenergia, Laboratório de Mecanização Agrícola, Universidade Estadual de Ponta Grossa (Lama/UEPG)

³ Programa de Pós-graduação em Bioenergia, Laboratório de B combustíveis, Universidade Estadual de Ponta Grossa

Palavras-chave

biodigestores, biofertilizantes, escolas

RESUMO

A localização de Roraima, distante dos grandes centros industriais e produtivos do país, fomentam a alta dos preços e valores dos itens básicos, combustíveis, alimentos perecíveis entre outros. No caso dos combustíveis alternativas locais/regionais devem ser estudadas. Neste caso objetiva-se quantificar e qualificar potencial energético térmico do uso biodigestor de pequena escala (capacidade 3 m³) comercialmente disponível. Este será instalado em escola estadual visando aproveitamento de resíduos orgânicos provindo da alimentação dos alunos. Objetiva-se ainda quantificar e qualificar sub produto gerado para uso com fertilizante agrícola. A utilização dos resíduos orgânicos disponíveis nas comunidades escolares rurais, poderá ser extrapolada para comunidades indígenas e de agricultura familiar, bem como uso de matérias-primas diversas conforme contexto local. Espera-se ainda contextualizar o uso do biodigestor no contexto pedagógico para disciplinas como biologia, química e física do ensino fundamental e médio.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um país com território continental, com distintas formações geográficas, diferentes biomas e ampla quantidade de corpos hídricos, o que possibilita a geração de energia de distintas fontes renováveis. Isso se confirma pela quantidade de energia renovável utilizada, ano de 2023, que foi, conforme Balanço Energético Nacional (BEN) de 49,1% (EPE, 2024). Conforme o referido relatório, a maior quantidade de energia renovável produzida no país deriva da biomassa de cana de açúcar (16,9%), seguida pela hidráulica (12,1%), lenha e o carvão vegetal (8,6%). O maior consumo de energia no país é de petróleo e seus derivados com 035,1% do total (EPE, 2024).

Outra variável, quando se trata de energia, já considerada em estudos de sustentabilidade, como Nexu WEF (*water, energy and food*), é a disponibilidade e o acesso, o que em ideia simplista pode ser traduzida como preço ao consumidor. No estado de Roraima, a gasolina comum em agosto de 2025 era



vendida a R\$ 6,97 e o GLP a R\$ 139,00 (13 kg) (ANP, 2025), valores estes considerando média ponderada incluindo a capital Boa Vista. Neste caso nos locais mais distantes estes preços são bem mais elevados. A composição de preços de qualquer produto tem influência direta a distância da “produção” até o consumidor, o que leva ao estudo de alternativas que considere a disponibilidade local/regional de matéria-prima.

Quando mal manejados, os resíduos sólidos, dejetos, água negra, podem ocasionar graves problemas ambientais como, contaminação dos solos, corpos de água, lençóis freáticos, liberação de gases como dióxido de carbono, metano e gás sulfídrico (Sarda et al. 2010).

Transformar este subproduto em coproduto passa a ser desafio ambiental e econômico. A biodigestão é técnica consagrada para transformação e consequente tratamento de dejetos, esta decomposição gera biofertilizantes estabilizados e biogases tais como metano (CH₄). Este último é gás combustível, que dependente da logística, pode ser excelente alternativa como energia. Isto é, desde que a geração esteja próxima da utilização, o CH₄, presente no biogás, pode ser utilizado energeticamente de várias formas na propriedade agrícola (Colatto e Langer., 2011; Kunz et al., 2006). Quando do uso energético, térmico, de maneira direta ou, outras formas de energia, o processo de combustão transforma o CH₄ em CO₂, diminuindo o poder de efeito estufa em mais de 24 vezes.

Conforme relato, objetiva-se testar kit comercial de biodigestor de pequena escala em condições regionais no Estado de Roraima.

MATERIAL E METODO

O trabalho será realizado no Estado de Roraima, extremo Norte do Brasil. Espera-se testar biodigestor comercial marca Biogest, modelo GT 3.0 (3,0 m³). Este, comercialmente, é apresentado como um biodigestor autossuficiente projetado para converter resíduos orgânicos em biogás e fertilizantes de forma eficaz. Sua estrutura combina um gasômetro e um biodigestor em uma única câmara, fabricada com lona náutica HDPE, altamente resistente à corrosão e vazamentos. Este sistema completo inclui todos os acessórios e componentes necessários para garantir seu funcionamento adequado, segurança e eficiência. Entre os acessórios fornecidos estão filtros e materiais de segurança, um fogão, conexões, tubos, mangueiras e outros dispositivos projetados para otimizar a instalação e a operação do sistema. Possui volume de 300 L, com tanque de gás de 1600 L, com lona náutica de múltiplas camadas, de polietileno de alta densidade (HDPE).

Quanto ao funcionamento tem capacidade máxima de resíduos orgânicos de 15 a 45 L dia-1, o que resultaria e até 3 horas de funcionamento de queimador único de em fogão próprio que acompanha o sistema (kit). Como subproduto, o fabricante indica até 60 L dia-1 de fertilizante. Este será alimentado com resíduos de escola estadual, tais como resíduos de preparo de merenda escolar e resíduos orgânicos de possível coleta seletiva entre alunos da escola escolhida.

Espera-se caracterizar, quantitativamente e qualitativamente, resíduos disponíveis. Quanto a qualidade o objetivo é realizar análise imediata dos diferentes resíduos disponíveis (Oliver, 2008). Visando determinar potencial energético, objetiva-se determinar tempo de aquecimento de volume



padrão de água em queimador que acompanha o kit disponível. Para qualificação do fertilizante, objetiva-se determinar quantitativo gerado, determinação de massa seca e análise de rotina de macro nutrientes, para uso agrícola, e possíveis contaminantes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Espera-se qualificar e quantificar material orgânica passível de alimentação para biodigestão em escola estadual do Estado de Roraima, bem como determinar potencial energético térmico de kit comercialmente disponível de biodigestor de pequeno porte. Objetiva-se ainda quantificar e qualificar sub produto gerado para uso com fertilizante agrícola.

A utilização dos resíduos orgânicos disponíveis nas comunidades escolares rurais, poderá ser extrapolada para comunidades indígenas e de agricultura familiar, bem como uso de matérias-primas diversas conforme contexto local.

Espera-se ainda contextualizar o uso do biodigestor em temas e trilhas de ciências, construindo dialética e material didático-pedagógico para disciplinas como biologia, química e física do ensino fundamental e médio.

AGRADECIMENTOS

Aos amigos e clientes que acreditaram no projeto: Amatur turismo e transporte, a Agropecuaria Garrote, pelo auxílio financeiro ao projeto.

REFERÊNCIAS

ANP - Agência Nacional do Petróleo-ANP. Série histórica de preços de combustíveis. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-revenda-e-de-distribuicao-combustiveis/serie-historica-do-levantamento-de-precos>.

Colatto, L., & Langer, M. (2012). Biodigestor – resíduo sólido pecuário para produção de energia. *Unoesc & Ciência - ACET*, 2(2), 119–128. Disponível em: <https://periodicos.unoesc.edu.br/acet/article/view/738>.

EPE - Empresa de Pesquisa em Energia . Anuário Estatístico de Energia Elétrica, 2025. Disponível em: <https://dashboard.epe.gov.br/apps/anuario-livro/>.

KUNZ, A.; Schierholt Neto, G.F.; Menozzo, G.F.; Bortolil, M.; Ramme, M.; Costa, R. Estação de tratamento de dejetos de suínos (ETDS) como alternativa para redução do impacto ambiental da suinocultura. Comunicado Técnico (CNPSA), v. 452, p. 1-6, 2006.

MAGALHÃES, Agenor P. T. Biogás: um projeto de saneamento urbano. São Paulo: Nobel, 1986, 120p.



Especialização no Ensino de Ciências 31 MAZZUCCHI, O. A. J. Biodigestor rural. São Paulo, CESP, 1980. 29p

NOGUEIRA, Luiz Augusto Horta. Biodigestão: a alternativa energética. São Paulo: Nobel, 1986.

OLIVER, A. de P. M. et al. Manual de treinamento em biodigestão. Salvador: Winrock, 2008. 23 p.

Sardá, L. G. et al. Redução da emissão de CO₂, CH₄ e H₂S através da compostagem de dejetos suínos. *Gestão e Controle Ambiental • Rev. bras. eng. agríc. ambient.* 14 (9) • Set 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000900014>



PRODUÇÃO DE BIODIESEL DE SOJA COM ANITIOXIDANTES: AVALIAÇÃO DA ESTABILIDADE OXIDATIVA COM PUNICALAGINA E RUTINA

Débora Cristina Pereira¹; Maico Taras da Cunha¹; Guilherme Arielo Rodrigues Maia¹; Everson do Prado Banczek¹

¹Universidade Estadual do Centro-Oeste

Palavras-chave

Energias renováveis, estabilidade oxidativa, compostos fenólicos.

Resumo

O biodiesel é um biocombustível renovável e sustentável, considerado uma alternativa ao diesel fóssil. No entanto, apresenta elevada suscetibilidade à oxidação durante o armazenamento, gerando compostos indesejados que comprometem sua qualidade e desempenho. A degradação oxidativa é influenciada por fatores como oxigênio, luz, calor e presença de metais, sendo necessária a adoção de estratégias de estabilização, entre as quais se destacam os antioxidantes. Embora aditivos sintéticos como BHT, BHA e galato de propila prolonguem a vida útil do biodiesel, eles apresentam custo elevado, origem não renovável e potencial toxicidade, estimulando o interesse em alternativas naturais e sustentáveis. Compostos fenólicos presentes em extratos vegetais, como a punicalagina, presente na casca da romã, e a rutina, encontrada em frutas e vegetais, possuem elevado potencial antioxidante, neutralizando radicais livres e quelando metais, o que pode aumentar significativamente a estabilidade do biodiesel. Neste estudo, o biodiesel será produzido a partir de óleo de soja via transesterificação alcalina e aditivado com punicalagina, rutina ou BHT. Serão avaliadas propriedades físico-químicas e estabilidade à oxidação utilizando o método Rancimat, sob diferentes condições de armazenamento. Espera-se que os antioxidantes naturais prolonguem o tempo de indução oxidativa, oferecendo alternativa viável e sustentável aos aditivos sintéticos, alinhada aos princípios da química verde. Os resultados contribuirão para o desenvolvimento de biocombustíveis mais estáveis, ambientalmente adequados e economicamente viáveis, além de fortalecer pesquisas em bioenergia e tecnologias sustentáveis.

Introdução

Os biocombustíveis são essenciais na transformação da matriz energética, sendo renováveis, sustentáveis e de baixa emissão. Entre eles, o biodiesel se destaca como substituto do diesel fóssil, mas apresenta alta suscetibilidade à oxidação, gerando aldeídos, cetonas e ácidos graxos livres, o que compromete sua qualidade (Soares, 2022). Fatores como oxigênio, luz, calor e metais aceleram essa degradação, tornando necessária a adoção de estratégias de estabilização, como o uso de antioxidantes (Zuleta et al., 2012).

Aditivos sintéticos, como BHA, BHT e galato de propila, aumentam a vida útil do biodiesel, mas são caros, não renováveis e potencialmente tóxicos. Por isso, cresce o interesse em antioxidantes naturais, como compostos fenólicos de biomassa ou resíduos, que aumentam a estabilidade do biodiesel (Correia et al., 2020). Entre eles, a punicalagina, presente na casca da romã, e a rutina, encontrada em



frutas e vegetais, apresentam forte atividade antioxidante, neutralizando radicais livres e quelando metais, contribuindo para maior tempo de armazenamento e estabilidade oxidativa (Witt et al., 2021; Nguyen et al., 2013; Paula et al., 2015).

Este estudo propõe produzir biodiesel de óleo de soja e avaliar o efeito desses antioxidantes naturais em comparação com aditivos sintéticos, visando biocombustíveis mais estáveis, sustentáveis e alinhados à química verde.

Material e métodos

Produção do biodiesel

O biodiesel será produzido por transesterificação alcalina do óleo de soja comercial. Os principais procedimentos de produção, aditivação com antioxidantes e análises de estabilidade serão os seguintes:

Preparação do metóxido de potássio

Serão dissolvidos 1,5 g de KOH em 35 mL de metanol, sob agitação magnética e temperatura de 40–45 °C, até completa dissolução, formando a solução de metóxido de potássio que será utilizada na reação de transesterificação.

Transesterificação e purificação do biodiesel

Serão medidos 100 mL de óleo de soja, que serão aquecidos a 70 °C em balão de três bocas sob agitação magnética. A solução de metóxido de potássio, previamente aquecida a 40 °C, será adicionada lentamente, mantendo-se a mistura a 70 °C por 60 minutos. Após o resfriamento, a mistura será transferida para funil de separação, sendo removida a fase inferior (glicerina), enquanto a fase superior (biodiesel bruto) será lavada com soluções de HCl 0,5% (v/v), NaCl saturado e água destilada. O biodiesel será seco em estufa a 120 °C por 1 hora e posteriormente armazenado até o uso.

Adição dos antioxidantes naturais

A estabilidade à oxidação será determinada no aparelho Rancimat, da marca METROHM, modelo 873, de acordo com a norma EN 14112, utilizando amostras de 3 g de biodiesel, que serão analisadas sob aquecimento a 110 °C e fluxo de ar constante de 10 L h⁻¹. Serão analisadas as seguintes amostras de biodiesel: (A) Biodiesel puro, (B) Biodiesel + BHT (5000 ppm), (C) Biodiesel + punicalagina e (D) Biodiesel + rutina. As concentrações de punicalagina e rutina serão determinadas e correlacionadas à atividade antioxidante do biodiesel, com o objetivo de avaliar a contribuição desses compostos para a estabilidade oxidativa do combustível.

Armazenamento e análises de estabilidade



O biodiesel será acondicionado em frascos de vidro com tampa hermética. Parte das amostras será armazenada sob exposição contínua à luz artificial branca e temperatura constante de 40 ± 2 °C, enquanto outra porção será mantida nas mesmas condições térmicas, porém protegida da luz, utilizando frascos de vidro âmbar ou recobertos com papel alumínio, servindo como controle.

Caracterização físico-química e análise estatística

Serão determinadas a massa específica (NBR 7148), o ponto de fulgor (ASTM D93), o teor de éster (EN 14103) e o teor de umidade (ASTM D6304). As análises serão realizadas em triplicata, com registro detalhado dos valores obtidos para cada tempo e condição de armazenamento. As concentrações de punicalagina e rutina serão avaliadas em função da atividade antioxidante.

Resultados e Discussão

Espera-se a obtenção de biodiesel metílico de alta pureza, atendendo aos requisitos estabelecidos pela **Resolução ANP nº 920, de 7 de dezembro de 2023**, que define as especificações de qualidade do biodiesel comercializado no país, incluindo parâmetros como **teor de éster, estabilidade à oxidação, teor de umidade, massa específica, ponto de fulgor e teor de contaminantes (ANP 920/2023)**. A eficácia dos antioxidantes naturais punicalagina e rutina deverá ser comprovada pela inibição significativa da oxidação do biodiesel durante o armazenamento, refletida no aumento do tempo de indução nos ensaios de estabilidade oxidativa, como o Rancimat. Pretende-se identificar a concentração ideal de cada antioxidante, considerando não apenas a eficiência antioxidante, mas também aspectos econômicos e de viabilidade prática de aplicação. Os resultados deverão demonstrar que o uso de antioxidantes naturais pode substituir ou complementar aditivo sintético tradicionalmente utilizado, como o BHT, oferecendo uma alternativa mais sustentável e menos tóxica. Além disso, será avaliado o comportamento oxidativo do biodiesel ao longo de diferentes períodos de armazenamento (0, 1, 3 e 6 meses), gerando dados relevantes sobre sua durabilidade e estabilidade. Com isso, o projeto pretende contribuir para o avanço científico e tecnológico na área de energias renováveis, especialmente no desenvolvimento de biodiesel mais estável, sustentável e ambientalmente adequado.

Considerações finais

O uso de antioxidantes naturais, como a punicalagina e a rutina, representa uma alternativa promissora para aumentar a estabilidade oxidativa do biodiesel de soja, reduzindo a dependência de aditivos sintéticos e o impacto ambiental do produto. Espera-se que a aplicação desses compostos contribua para o desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis e alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente energia limpa e acessível (ODS 7). O projeto também favorecerá a formação de recursos humanos qualificados e o fortalecimento de redes de pesquisa voltadas à bioenergia e à química verde.

Agradecimentos

Agradece-se à Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia (PPGBioenergia), CNPq pela bolsa de estudos.



Referências

CORREIA, I. A. S.; BORSATO, D.; SAVADA, F. Y.; PAULI, E. D., MANTOVANI, A. C. G., CREMASCO, H.; CHENDYNSKI, L. T. Inhibition of the biodiesel oxidation by alcoholic extracts of green and black tea leaves and plum pulp: Application of the simplex-centroid design. **Renewable Energy**, v. 160, p. 288-296, 2020. (doi. org/10.1016/j.renene. 2020.06.118). Acesso em: 29 out 2025.

MILANEZ, Artur Yabe *et al.* BIODIESEL E DIESEL VERDE NO BRASIL: PANORAMA RECENTE E PERSPECTIVAS: panorama recente e perspectivas. **Bndes**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 56, p. 41-71, set. 2022. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/22585/1/PRArt215696_Biodiesel%20e%20diesel%20verde%20no%20Brasil.pdf. Acesso em: 29 out 2025.

NGUYEN, T. A.; LIU, B.; ZHAO, J.; THOMAS D. S.; HOOK, J. M. An investigation into the supramolecular structure, solubility, stability and antioxidant activity of rutin/cyclodextrin inclusion complex. **Food chemistry**, Amsterdam, v. 136, n. 1, p. 186-192, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/231223711_An_investigation_into_the_supramolecular_structure_solubility_stability_and_antioxidant_activity_of_rutincyclodextrin_inclusion_complex. Acesso em: 29 out 2025.

PAULA, C. S.; CANTELI, V. C. D.; HIROTA, B. C. K.; CAMPOS, R.; OLIVEIRA, V. B.; KALEGARI, M.; SILVA, C. B.; SILVA, G. M.; MIGUEL, O. G.; MIGUEL, M. D. Potencial antioxidante in vitro das folhas da *Bauhinia unguiculata* L. **Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada**, Araraquara, v. 35, n. 2, p. 217-222, 2014. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-757773>. Acesso em: 27 out 2025.

Resolução ANP nº 920, de 4 de abril de 2023 — “Estabelece a especificação do biodiesel e as obrigações quanto ao controle de qualidade a serem atendidas pelos agentes econômicos que comercializem o produto em território nacional.” Disponível em: https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-920-2023?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 24 out 2025.

SOARES Murta, A. L. (2022). O USO DO BIODIESEL PARA REDUZIR AS EMISSÕES DE CO₂ CAUSADAS PELA FROTA DE ÔNIBUS URBANOS DO RIO DE JANEIRO. *Revista Brasileira De Transportes*, 2(2), 84–127. Disponível em: <https://doi.org/10.12660/rbt.v2n2.2022.88578>. Acesso EM: 25 out 2025.

WITT, Elaine de Paula *et al.* Potential application of supercritical extract of pomegranate peel as bio-antioxidant for biodiesel. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, [S.L.], v. 41, n. 2, 17 set. 2021. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/ep.13755>. Acesso em: 29 out 2025.

ZULETA, Ernesto C.; BAENA, Libia; RIOS, Luis A.; CALDERÓN, Jorge A.. The oxidative stability of biodiesel and its impact on the deterioration of metallic and polymeric materials: a review. **Journal Of The Brazilian Chemical Society**, [S.L.], v. 23, n. 12, p. 2159-2175, dez. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-50532012001200004>.



PEGADA DE CARBONO E CARACTERIZAÇÃO DO AMIDO DE MILHO CRIOULO EM SISTEMAS DE PRODUÇÃO COM FOCO NA PRODUÇÃO DE BIOETANOL

Anderson Farias¹, Yasmim Luana Gomes de Melo¹, Pedro Henrique Weirich Neto², Jaime Alberti Gomes², Luiz Cláudio Garcia²

¹ Discente do Programa de Pós Graduação em Bioenergia, Laboratório de Mecanização Agrícola, Universidade Estadual de Ponta Grossa (Lama/UEPG)

² Docente do Programa de Pós Graduação em Bioenergia, Laboratório de Mecanização Agrícola, Universidade Estadual de Ponta Grossa (Lama/UEPG)

Palavras-chave

Desenvolvimento sustentável, biocombustível, agricultura camponesa

Resumo

O Brasil é um dos maiores consumidores e produtores de etanol do mundo, sendo a cultura do milho um dos destaques na produção do biocombustível. Os sistemas de produção da cultura do milho incluindo aplicação de agrotóxicos, fertilizantes, irrigação e demais práticas agrícolas e operações motomecanizadas, podem gerar impactos quanto a emissão de gases do efeito estufa. A pegada energética do bioetanol é a soma das entradas de energia fóssil nas diferentes etapas da cadeia de produção menos a pegada energética alocada aos coprodutos. Para a cultura do milho a maior parcela (69%) de entrada energética está relacionada ao uso de fertilizantes (principalmente nitrogênio) e agrotóxicos, seguido pelo uso direto de energia no cultivo e colheita do milho (29%) e energia utilizada em máquinas agrícolas (3%). Sementes crioulas, são sementes adaptadas as condições edafoclimáticas, econômicas e sociais locais, são mais rústicas e menos dependentes de insumos externos à propriedade, uma das premissas do desenvolvimento sustentável podendo apresentar redução na pegada de carbono e melhoria na eficiência energética. Considerando que o amido é a principal fonte energética do milho, formado por múltiplas unidades de glicose, estudos quantitativos e qualitativos se fazem necessários. Diante do exposto, o objetivo do trabalho é caracterizar o amido de diferentes genótipos de milho crioulo, bem como quantificar a pegada de carbono, energia líquida e eficiência energética, através do levantamento das entradas e saídas de insumos em sistemas de manejo da cultura do milho e analisar o efeito na produção de etanol.

Introdução

Emissão de gases de efeito estufa, eficiência energética e economia através do uso de combustíveis alternativos podem ser comparadas através da análise do ciclo de vida, qual pode ser utilizado na área de biocombustíveis (Gao *et al.*, 2011). A agricultura é responsável por aproximadamente 15% das emissões dos gases de efeito estufa, com incremento anual de 1% (Xu *et al.*, 2024).

O Brasil é um dos maiores consumidores e produtores de etanol do mundo (ANP, 2024), sendo a cultura do milho, na atualidade, um dos destaques nesta produção (Vidal, 2024). O milho (*Zea mays* L.) é uma espécie domesticada na América, com volume de produção, safra 2024/25, de



aproximadamente 1,22 bilhões de toneladas, sendo que os maiores produtores de milho nos últimos anos foram China, Estados Unidos e Brasil. O Brasil, terceiro colocado, apresentou produção de 131,95 milhões de toneladas (FAO, 2025).

O milho é uma das culturas mais tradicionais no Brasil, cultivada em diferentes condições de clima, solo e tecnologia. No Paraná, a cultura tem fundamental importância econômica e social em razão do número de empregos e da renda gerada em toda a cadeia. Porém, os sistemas de produção da cultura do milho incluindo aplicação de agrotóxicos, fertilizantes, irrigação e demais práticas agrícolas e operações motomecanizadas, podem gerar impactos quanto a emissão de gases do efeito estufa (Gao *et al.*, 2011). Um exemplo é a utilização de grandes quantidades de nitrogênio, geralmente na forma de ureia, sendo esta oriunda do petróleo (EMBRAPA, 2006).

Comparando a pegada energética para produção de bioetanol a partir de milho e cana de açúcar, encontrou que para o bioetanol de milho, a entrada energética na biorrefinaria representa 77% da entrada energética total, enquanto os 23% restantes são utilizados na produção, colheita e transporte do milho. No cultivo do milho, a maior parcela (69%) de entrada energética está relacionada ao uso de fertilizantes (principalmente nitrogênio) e agrotóxicos, seguido pelo uso direto de energia (diesel, gás liquefeito de petróleo, gás natural, eletricidade) no cultivo e colheita do milho (29%) e energia utilizada em máquinas agrícolas (3%) (Mekonnen *et al.*, 2018).

Porém estes índices podem variar muito, principalmente no Brasil, onde existem duas “agriculturas” bem diferenciadas, a agricultura industrial, denominada agronegócio, e a agricultura camponesa, denominada de agricultura familiar (Rocha *et al.*, 2016). Alguns agricultores de base familiar utilizam sementes próprias de milho, denominadas crioulas, as quais são conservadas e melhoradas geneticamente (adaptadas) pelas próprias famílias camponesas. Assim, as sementes crioulas são adaptadas às condições edafoclimáticas, econômicas e sociais locais, são mais rústicas e menos dependentes de insumos externos à propriedade, uma das premissas do desenvolvimento sustentável (Fernandes, 2017). Sendo assim as sementes e mudas crioulas são símbolo da soberania alimentar, produzindo alimentos saudáveis, de menor custo, podendo ainda, ser fonte de biocombustível (Bernardi *et al.*, 2020).

Considerando que o amido é a principal fonte energética do milho, formado por múltiplas unidades de glicose, estudos quantitativos e qualitativos se fazem necessários. Teor de amido, formato e tamanho do grânulo de amido, além da determinação das frações de amilose e amilopectina são variáveis importantes quando do dimensionamento de culturas amiláceas para obtenção de etanol. (Zhu *et al.*, 2017)

Diante disso, objetivou-se caracterizar o amido de diferentes genótipos de milho crioulo, bem como quantificar a pegada de carbono, através do levantamento das entradas e saídas de insumos em sistemas de manejo da cultura do milho e de produção de etanol.

Material e métodos



O trabalho será realizado junto a agricultores camponeses de assentamento da reforma agrária localizado no município de Imbaú no estado do Paraná, qual se encontra inserido nos Campos Gerais, sob coordenadas geográficas 24°26'42"S, 50°45'39"O, com altitude média de 940 metros, com clima caracterizado como subtropical (cfb). Será realizado o cultivo, a colheita e a coleta de amostras de grãos de três genótipos de milho crioulo para a extração do amido. Este será hidrolisado, fermentado e destilado, calculando-se rendimento nas diferentes fases.

Para o cálculo da pegada de carbono para produção de bioetanol, serão levantadas as informações de entradas e saídas correlatas à produção de milho na unidade rural e a produção do biocombustível etanol,

Para o cálculo da energia líquida e eficiência energética na produção do bioetanol será utilizada a equação 1 proposta por Gao *et al.*, (2011).

$$\Delta E = \sum E_{O} - \sum E_{I} \dots\dots\dots \text{equ. 1}$$

Onde, ($\sum E_{I}$, MJ kg⁻¹) refere-se ao total de energia de entrada não renovável e ($\sum E_{O}$, MJ kg⁻¹) ao total de energia no bioetanol e co-produtos.

A Eficiência energética, r_{en} (MJ MJ⁻¹), é dada pela razão entre a energia total produzida e o total de energia de entrada não renovável. $r_{en} = \sum E_{O} / \sum E_{I}$

Serão realizadas análises físico-químicas para determinação de conteúdo de água, amido, açúcares, lipídios totais e proteína. Para detalhamento da morfologia dos grânulos será utilizado Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), espectroscopia de infravermelho para verificação da presença de grupos funcionais, difratômetro de raio-X para determinação da estrutura cristalina dos grãos de amido e cromatografia para a quantificação de seus componentes.

Considerações Finais

Pretende-se quantificar a pegada de carbono, energia líquida e eficiência energética na produção de bioetanol, através do levantamento das entradas e saídas de insumos em sistemas de manejo camponeses para genótipos de milho crioulo. A análise dos resultados poderá oferecer compreensão mais precisa de como as entradas e saídas na cultura do milho crioulo podem influenciar na emissão de gases de efeito estufa com foco no processo de produção de etanol. Espera-se que este estudo contribua para a mitigação de gases de efeito estufa e o aperfeiçoamento e avanço da cadeia de etanol de milho no Brasil.

Referências

ANP. **Etanol**. 2024. Disponível em: <http://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/produção-e-fornecimento-de-biocombustiveis/etanol>. Acesso em: 2 de setembro de 2024.



BERNARDI, W. K.; WEIRICH NETO, P. H.; GOMES, J. A.; CHARNOBAY, A. C. R.; BARREIROS, R. F. Viabilidade econômica e financeira da produção de etanol de batata-doce em micro destilarias. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 23, p. e1777, 2020.

CHENG, K., PAN, G., SMITH, P., LUO, T., LI, L., ZHENG, J., ... & YAN, M. Carbon footprint of China's crop production—An estimation using agro-statistics data over 1993–2007. **Agriculture, ecosystems & environment**, 142(3-4), 231-237, 2011.

COELHO, A. M. **Nutrição e adubação do milho**. Sete Lagoas: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular técnica, 78), 2006.

FAO.FAOSTAT – **Produção total de milho no mundo**. Organização das Nações Unidas, Roma, Itália. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data>. Acessado: 30 set. 2025.

FERNANDES, G. B. Sementes crioulas, variedades e orgânicas para a agricultura familiar: da exceção legal à política pública. In: SAMBUICHI, R. H. R. *et al* **A política nacional de agroecologia e produção orgânica no Brasil: uma trajetória de luta pelo desenvolvimento rural sustentável**. Brasília: Ipea. Cap. 11, p. 327-357, 2017.

GAO, J., L. QIAN, K.D. THELEN, X. HAO, L.C. SOUSA, M.W. LAU, et al. Corn harvest strategies for combined starch and cellulosic bioprocessing to ethanol. **Agron. J.** 103:844–850. doi:10.2134/agronj2010.0445, 2011.

MEKONNEN, MESFIN M., et al. Water, energy, and carbon footprints of bioethanol from the US and Brazil. **Environmental Science & Technology**, v. 52, n. 24, p. 14508-14518, 2018.

ROCHA, C. H.; WEIRICH NETO, P. H. MAZER, G. P.; EURICH, J. Agricultura familiar: base para o desenvolvimento sustentável. In: ROCHA, C. H.; WEIRICH NETO, P. H.; SOUZA, N. M. (Org.). **Sustentabilidade: a transformação vem da agricultura familiar**. 1ed. Ponta Grossa: Estúdio Texto, 2016, v. 1, p. 27-38.

VIDAL, M. F. **Agroindústria: Etanol (Caderno Setorial Etene)**. Fortaleza: BNB, ano 9, n. 325, jan, 2024.

XU, X., ZHAO, Q., GUO, J., LI, C., LI, J., NIU, K. Inequality in agricultural greenhouse gas emissions intensity has risen in rural China from 1993 to 2020. **Nat. Food**, v5, 916–928. doi: 10.1038/s43016-024-01071-1, 2024.

ZHU, J, et al. Structural features and thermal property of propionylated starches with diferente amylose/amylopectin ratio. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 97, p. 123-130, 2017.



APLICAÇÃO DE ELETRODOS DE ALUMÍNIO ANODIZADOS PARA GERAÇÃO DE GÁS HIDROGÊNIO VIA ELETRÓLISE ÁCIDA

Jean Guilherme Brozoski¹, Eduarda Carolina Scherer Hagemann¹, Letícia Larsson¹, André Lazarin Gallina¹

¹Universidade Estadual do Centro-Oeste

Palavras-chave

hidrogênio verde, eficiência eletroquímica, delineamento experimental

Resumo

A alta demanda energética mundial e mudanças climáticas cada vez mais severas têm impulsionado a pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias baseadas em energias renováveis. Nesse contexto o hidrogênio verde surge como vetor energético promissor por ser produzido a partir de fontes limpas, como a eletrólise da água alimentada por fontes renováveis como energia solar, eólica e hidráulica. A anodização do alumínio, processo eletroquímico que gera camadas de óxidos porosos na superfície do metal, vêm como uma alternativa em tratamento de superfícies metálicas a fim de aumentar a vida útil, protegendo-o de ambientes corrosivos, e como uma alternativa para aplicação na produção de hidrogênio verde. Este trabalho propõe o emprego de eletrodos de alumínio anodizado na produção de hidrogênio via eletrólise, com resultados promissores na diminuição do sobrepotencial de produção de hidrogênio em certas condições de crescimento de óxido e aumento da vida útil.

Introdução

A preocupação com as mudanças climáticas e a necessidade de descarbonização das economias globais têm impulsionado transformações significativas no setor energético. A crescente demanda por fontes de energia sustentáveis como eólica, solar, biomassa e hidrelétrica tem mudado a forma com que o mundo olha para a energia atualmente (BEN, 2024).

Nesse contexto, o hidrogênio desponta como um dos vetores energéticos mais promissores para a consolidação de uma economia de baixo carbono. A versatilidade desse elemento permite aplicações em setores como: transporte, indústria, geração e armazenamento de energia, com a vantagem de não emitir gases de efeito estufa quando produzido por meios sustentáveis como eletrólise (IEA, 2023). A técnica consiste na passagem de uma corrente elétrica por uma solução contendo água, com isso ocorre a dissociação das moléculas de H₂O em hidrogênio (H_{2(g)}) e oxigênio (O_{2(g)}). No entanto, a técnica enfrenta desafios técnicos e econômicos, com a alta demanda energética do processo e o elevado custo dos eletrolisadores, ainda limitam a competitividade dessa rota (Wu & Bucknall, 2020).

A busca por eficiência e viabilidade econômica na produção de hidrogênio verde tem incentivado o desenvolvimento e aprimoramento de materiais, especialmente os eletrodos utilizados nos eletrolisadores. A escolha adequada dos materiais dos eletrodos influencia diretamente a eficiência de conversão energética, a estabilidade operacional do sistema e a durabilidade do equipamento. Nesse sentido, o alumínio tem despertado crescente interesse na comunidade científica por sua abundância,



baixo custo, condutividade elétrica e compatibilidade com processos de modificação superficial (ALVES, 2018).

A anodização do alumínio é um processo eletroquímico amplamente utilizado para a formação de uma camada controlada de óxido de alumínio (Al_2O_3) sobre a superfície metálica. Essa camada confere ao material propriedades como alta resistência à corrosão, estabilidade térmica, dureza superficial e uma morfologia porosa que pode ser explorada para diversas aplicações (ALVES, 2018). Os eletrodos de alumínio anodizado, quando otimizados, podem oferecer desempenho eletroquímico competitivo em processos de geração de hidrogênio devido a morfologia adquirida após a anodização que facilita o desprendimento do hidrogênio da superfície do eletrodo.

Material e métodos

Preparo dos eletrodos

A liga de alumínio escolhida para o desenvolvimento desse trabalho foi a AA5052. As peças foram moldadas em formato quadrado de $0,80\text{ cm}^2$ de área e $10,0\text{ cm}$ de altura e embutidas em PVC com resina acrílica. Somente um lado ficou exposto para os experimentos (ALVES, 2018).

Planejamento experimental

O Planejamento experimental fatorial 3^2 foi montado pelo software STATISTICA 13, para verificar o comportamento da produção de hidrogênio variando a densidade de corrente com valores de 10, 20 e 40 j/mAcm^{-2} e o tempo de 10, 20 e 30 min de anodização.

Soluções utilizadas

Para as anodizações foi preparado uma solução de ácido sulfúrico com concentrações de 20% a partir de uma solução concentrada de ácido sulfúrico com água deionizada (ALVES, 2018). Para as medidas eletroquímicas foi preparado uma solução de ácido fórmico 3 mol/L , a partir de uma solução concentrada do ácido, e diluído utilizando água deionizada (Gallina et al., 2014).

Anodização do alumínio.

Para as anodizações é feito um tratamento prévio da superfície dos eletrodos de alumínio. Os eletrodos são polidos com lixas SiC de #220, #340, #400, #600, #800 e #1200 em uma politriz com água, após o polimento as peças são limpas com água ultrapura (ALVES, 2018).

Na etapa de anodização são variados tempo e densidade de corrente. Para as anodizações foi utilizado uma fonte *Rigol DP932U* com controle digital para ajuste de corrente e tensão. Para a montagem do circuito elétrico, utilizou-se os eletrodos de alumínio como ânodo e uma placa de alumínio da mesma liga com formato retangular de área 5 vezes maior como cátodo, imersos em ácido sulfúrico dentro de um recipiente de vidro com capacidade de 250 mL , um multímetro em série para a regulação da corrente, um termômetro de mercúrio imerso na solução de ácido para verificação e controle da temperatura de $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$. O tempo foi controlado através de um cronometro digital. Após a finalização da anodização os eletrodos foram lavados com água ultrapura a temperatura ambiente a fim de retirar toda solução ácida presente no eletrodo (ALVES, 2018).

Ensaio eletroquímicos.



Potencial de Circuito Aberto (ECA)

O Potencial de circuito aberto foi realizado para definir o potencial de estabilização do eletrodo. Onde foi definido um tempo de 5400s para estabilização do eletrodo e obtenção do potencial.

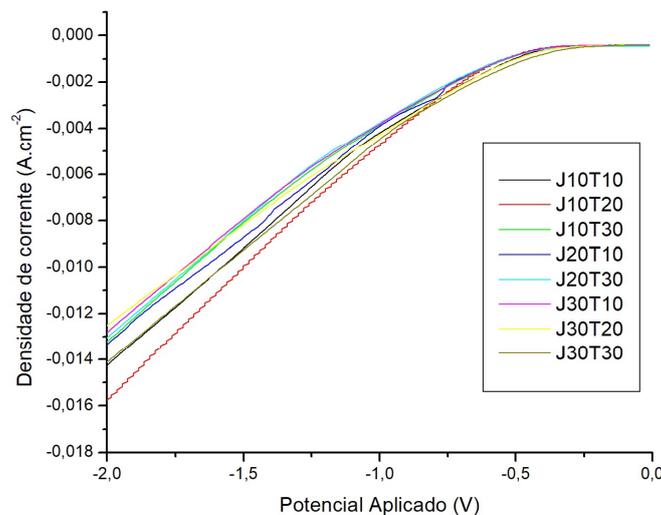
Curva de Polarização Potenciodinâmica Catódica (PPC)

Para o estudo da reação de desprendimento de hidrogênio foi utilizado a técnica de polarização potenciodinâmica catódica, aplicando um sobrepotencial de -2,00 V em relação ao potencial de circuito aberto, contra o eletrodo de referência de $\text{Ag}_{(s)}|\text{AgCl}_{(s)}|\text{KCl } 3 \text{ mol L}^{-1}$.

Resultados e Discussão

A partir do planejamento experimental, os eletrodos foram preparados e realizadas as medidas de ECA e PPC afim de avaliar o comportamento dos eletrodos em meio de ácido fórmico. As curvas de PPC são apresentados na figura 1.

Figura 1 – Curvas de polarização potenciodinâmica catódica para diferentes tratamentos de eletrodo



Fonte: Autor, 2025.

Para a análise estatística dos resultados o modelo matemático utilizado foi o quadrático com interações duplas, com o teste ANOVA foi obtido a variação explicada (R^2) de 91,20% e a máxima explicável de 99,54% que mostra que o modelo está bem ajustado. A significância estatística determinada pelo valor de $F = 8,29$, enquanto a referência para a distribuição F 95% foi de 6,26, o que indica que o modelo foi adequado para a representação dos dados, com o F encontrado sendo ligeiramente maior que o F tabelado. A partir da análise F_{raj} foi possível observar que não houve falta de ajuste. Além disso, todas as variáveis foram significativas, inclusive a interação das mesmas. Com a análise dos coeficientes de regressão foi possível determinar a equação matemática do modelo ($n_Y = -0,570234 + 0,015115(j) + 0,032695(j)^2 + 0,010717(t) + 0,208322(t)^2 + 0,025164(jt)$). De acordo com a equação pode-se observar que os parâmetros contribuem positivamente na sobretenção de produção de



hidrogênio, o que significa que quando aumenta-se os parâmetros a sobretensão de desprendimento de hidrogênio diminui (Oliveira, 2018).

A diminuição da sobretensão com o aumento dos parâmetros de anodização pode ser atribuída ao aumento da camada anódica na superfície do alumínio. A camada anódica possui uma estrutura hexagonal e porosa, portando uma superfície maior e mais heterogênea (DAVIS, 1993), com isso aumentando a área de reação do eletrólito com o metal e facilitando o desprendimento do hidrogênio no sistema (Lee et al., 2021).

Considerações finais

Com base nos resultados de sobretensão da PPC e tratamentos estatísticos observa-se que a anodização tem influência positiva na produção de hidrogênio utilizando eletrodos de alumínio e abre caminhos para o aprimoramento da técnica para uma melhor otimização do processo.

Agradecimentos

Agradeço ao meu grupo de pesquisa InovaBioS pela colaboração nesse projeto, a CAPES e a Fundação Araucária via NAPI H2, pelo apoio financeiro a este projeto.

Referências

- ALVES, G. J. T. (2018). *TRATAMENTO DE SUPERFÍCIE A BASE DE NIÓBIO PARA O ALUMÍNIO ANODIZADO COM E SEM COLORAÇÃO*.
- BEN. (2024). Balanço Energético Nacional. Ano Base 2023. *BEN*.
- DAVIS, J. R. (1993). ASM Specialty Handbook: Aluminum and Aluminum alloys. In *Aluminum and Aluminum Alloys* (p. 784).
- Gallina, A. L., Dias, B. V., & Rodrigues, P. R. P. (2014). Application of the Stainless Steel in the Hydrogen Generation as Fuel. *Revista Virtual de Química*, 6(2), 224–234. <https://doi.org/10.5935/1984-6835.20140016>
- IEA. (2023). Global Hydrogen Review 2023. In *Global Hydrogen Review 2023*. OECD. <https://doi.org/10.1787/cb2635f6-en>
- Lee, H. I., Cho, H.-S., Kim, M., Lee, J. H., Lee, C., Lee, S., Kim, S.-K., Kim, C.-H., Yi, K. B., & Cho, W.-C. (2021). The Structural Effect of Electrode Mesh on Hydrogen Evolution Reaction Performance for Alkaline Water Electrolysis. *Frontiers in Chemistry*, 9. <https://doi.org/10.3389/fchem.2021.787787>
- Oliveira, A. (2018). *Armazenamento de Hidrogênio em Paládio e Hidretos Metálicos*.
- Wu, P., & Bucknall, R. (2020). Hybrid fuel cell and battery propulsion system modelling and multi-objective optimisation for a coastal ferry. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(4), 3193–3208. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.11.152>



CARACTERIZAÇÃO DE AMIDO DE GENÓTIPOS DE MILHO PARA PRODUÇÃO DE ETANOL

Yasmin Luana Gomes de Melo¹, Pedro Henrique Weirich Neto¹, Sandra Regina Masetto Antunes²
Jaime Alberti Gomes¹

¹ Programa de Pós-graduação em Bioenergia, Laboratório de Mecanização Agrícola, Universidade Estadual de Ponta Grossa (Lama/UEPG)

² Programa de Pós-graduação em Bioenergia, Laboratório de Biocombustíveis, Universidade Estadual de Ponta Grossa

Palavras-chave

Extratibilidade, biocombustível, desenvolvimento sustentável.

Resumo

O etanol é um combustível renovável amplamente utilizado como alternativa à gasolina, sendo o Brasil um dos maiores consumidores e o segundo maior produtor mundial. A produção de etanol a partir do milho tem se mostrado estratégica para suprir a demanda interna, permitindo maior durabilidade de armazenamento, produção contínua ao longo do ano e aproveitamento de coprodutos. O etanol é obtido a partir do amido do milho, hidrolisado em açúcares fermentáveis e convertido por fermentação alcoólica. O amido é composto principalmente por amilose e amilopectina, cuja proporção influencia a organização dos grânulos, o tamanho das partículas e as propriedades físico-químicas e funcionais, incluindo o rendimento de extração. A extratibilidade do amido é um parâmetro essencial para avaliar a aptidão de genótipos de milho ao processamento industrial, especialmente na moagem úmida. Neste estudo, foram avaliados 53 genótipos de milho coletados na região dos Campos Gerais. O amido foi isolado seguindo metodologia laboratorial da Embrapa, envolvendo processos de incubação em solução de metabissulfito de sódio, separação do endosperma, trituração, filtração, centrifugação e secagem. O rendimento de endosperma, teor de amido e extratibilidade foram calculados. Os genótipos avaliados apresentaram variações no rendimento do endosperma, teor de amido e extratibilidade, onde o genótipo 1 apresentou maior extratibilidade de amido ($551,2 \text{ g.kg}^{-1}$) e o genótipo 10 o menor ($303,4 \text{ g.kg}^{-1}$).

Introdução

O etanol é um combustível renovável produzido por meio da fermentação de açúcares, sendo largamente empregado como substituto da gasolina. O Brasil figura entre os principais consumidores e ocupa a segunda posição na produção mundial (ANP, 2024). A produção de etanol a partir do milho tem se mostrado relevante para atender à demanda interna, oferecendo benefícios como maior durabilidade de armazenamento, produção contínua ao longo do ano e a geração de coprodutos (Sampaio, De Assis., 2023).

O etanol obtido do milho é produzido a partir do amido, que deve ser hidrolisado em açúcares fermentáveis, como a glicose, e posteriormente convertido em etanol por meio da fermentação alcoólica (Embrapa, 2021). O amido é um biopolímero do grupo dos polissacarídeos, sendo considerado o segundo mais abundante no mundo (Diyana et al., 2021). Os grânulos de amido são formados principalmente por dois polissacarídeos: amilose e amilopectina, ambos compostos por unidades repetitivas de α -D-glicose. A amilose apresenta estrutura predominantemente linear, enquanto a amilopectina é um polissacarídeo



altamente ramificado (Embrapa, 2021). Entender a estrutura e a composição do amido é fundamental, uma vez que a relação entre amilose e amilopectina influencia diretamente a organização dos grânulos, o tamanho das partículas e as propriedades do amido, como o rendimento de extração (Hoyos-Leyva *et al.* 2017).

O amido é geralmente extraído por processos que podem deixar subprodutos, como proteínas, lipídios e cinzas. Embora presentes em pequenas quantidades, esses componentes podem afetar as propriedades físico-químicas e funcionais do amido (Figuroa *et al.*, 2016). O aproveitamento obtido na extração é um fator de grande relevância, pois, além de refletir a qualidade do amido, também contribui para a valorização dos processos utilizados na extração e do produto final (Tessema; Admassu, 2021). As variações no rendimento podem ser decorrentes da origem e das diferenças genéticas da matéria-prima, do estágio de maturação da cultura e do método de extração utilizado (Awolu *et al.*, 2020).

A extratibilidade do amido é um atributo essencial para avaliar a aptidão de genótipos de milho ao processamento industrial, especialmente na moagem úmida para produção de amido e etanol combustível (Paes; Barbosa., 2019).

Diante do exposto o experimento tem como objetivo determinar a extratibilidade do amido em diferentes genótipos de milho.

Material e métodos

Os genótipos de milho utilizados para a realização do experimento foram coletados em diferentes locais na região dos Campos Gerais, Paraná, Brasil. Ao todo foram coletadas 53 amostras de genótipos de milho, as quais foram limpas, identificadas e armazenadas a 5°C. Até o momento, das 53 amostras, 10 foram analisadas e passaram pelo processo de extração, o restante ainda se encontra em processo de análise.

Para isolamento de amido e determinação da extratibilidade de grãos de milho por via úmida em escala laboratorial adaptou-se método que será descrito (Paes e Barbosa, 2019). Inicialmente foi preparada solução de metabissulfito de sódio 1% (m/v) pesando-se 1 g do reagente e dissolvendo-o em aproximadamente 40 mL de água deionizada. A solução foi transferida para um balão volumétrico de 100 mL, completando-se o volume com água deionizada. De cada um dos 53 genótipos coletados selecionaram-se 15 grãos em triplicata, que foram então pesados e colocados em tubo de centrífuga de fundo cônico de 50 ml, onde foi adicionado 7 mL da solução de metabissulfito de sódio 1% (m/v). Os tubos contendo os grãos em solução foram levados a banho-maria a 45 °C por 48 horas. Após o período de incubação, o líquido das amostras foi drenado, os grãos foram secos e pesados novamente. As frações anatômicas de cada grão (ponta, germe, pericarpo e endosperma) foram separadas manualmente utilizando bisturi, mantendo-se apenas o endosperma, o qual foi pesado para os posteriores cálculos. O endosperma foi triturado com água deionizada utilizando triturador manual, lavado com 200 mL de água deionizada e filtrado em peneira de inox com malha de 65 µm. O filtrado foi transferido para tubos centrífuga de 50 mL, onde foi centrifugado 1500 rpm por 15 minutos em temperatura ambiente. O pellet obtido foi lavado cinco vezes com etanol 70% (v/v), centrifugando-se e descartando-se o sobrenadante a cada etapa. Após as centrifugações, o material foi deixado aberto para evaporação do etanol residual e depois seco em estufa a 40 °C por 16 horas. Após seco, o amido foi homogeneizado em grau com pistilo, pesado e armazenado em frascos lacrados e identificados, em refrigeração a -18°C (Paes; Barbosa, 2019).

A partir dos valores obtidos calculou-se o rendimento de endosperma, o teor de amido no endosperma e a extratibilidade do amido. O rendimento de endosperma foi calculado como a proporção da massa do endosperma isolado em relação à massa dos grãos hidratados. O teor de amido no



endosperma foi calculado como a proporção da massa de amido seco extraído em relação à massa do endosperma. A extratibilidade do amido foi calculada como a proporção da massa de amido seco extraído em relação à massa dos grãos na base seca.

Resultados e Discussão

A Tabela 1 mostra os valores médios para as variáveis rendimento de endosperma, o teor de amido no endosperma e a extratibilidade do amido.

Tabela 1 - Médias para as variáveis rendimento do endosperma, amido no endosperma e extratibilidade do amido

Genótipo	Rendimento do endosperma (g.kg ⁻¹)	Amido no endosperma (g.kg ⁻¹)	Extratibilidade do amido (g.kg ⁻¹)
1	749,4	487,5	551,2
2	743,7	503,7	549,3
3	739,5	485,9	524,9
4	725,6	465,6	514,8
5	772,1	413,6	514,3
6	712,1	322,9	335,3
7	712,2	316,0	334,8
8	713,9	317,6	333,4
9	733,1	293,4	313,8
10	705,2	302,2	303,4

Fonte: Elaborado pelo autor.

É possível observar variações no rendimento do endosperma, no teor de amido e na extratibilidade do amido (Tabela 1). Os genótipos 1 e 2 apresentaram os valores mais elevados de extratibilidade de amido (551,2 g.kg⁻¹ e 549,3 g.kg⁻¹ respectivamente), associados aos altos teores de amido no endosperma (487,5 g.kg⁻¹ e 503,7 g.kg⁻¹) e rendimentos de endosperma próximos de 74%, indicando maior eficiência na extração de amido. Os genótipos 3, 4 e 5 apresentaram extratibilidade intermediária (524,9 g.kg⁻¹, 514,8 g.kg⁻¹ e 514,3 g.kg⁻¹ respectivamente) com valores próximos, apesar de variações no teor de amido no endosperma relevantes entre estes genótipos. Por outro lado, genótipos como 6, 7, 8, 9 e 10 exibiram teores de amido mais baixos no endosperma (335,3 g.kg⁻¹, 334,8 g.kg⁻¹, 333,4 g.kg⁻¹, 313,8 g.kg⁻¹ e 303,4 g.kg⁻¹ respectivamente) e extratibilidade de amido (322,9 g.kg⁻¹, 316,0 g.kg⁻¹, 317,6 g.kg⁻¹, 293,4 g.kg⁻¹ e 302,2 g.kg⁻¹ respectivamente), indicando menor potencial para aplicações industriais que exigem alto rendimento de amido extraído (Paes et al., 2018).

A extratibilidade do amido indica a fração de amido extraível do grão e reflete a eficiência do processo, influenciado pelas características do endosperma e pelas condições de processamento. Grãos com maior extratibilidade apresentam amido mais puro e íntegro, favorecendo aplicações industriais. A estrutura proteica e a organização dos grânulos no endosperma afetam a acessibilidade do amido, sendo que genótipos com endosperma vítreo apresentam extratibilidade menor (Barbosa et al., 2014).

A extratibilidade média do amido deve estar no intervalo de 600 a 750 g.kg⁻¹ do total da massa de grãos de milho secos, o que não foi observado em nenhum dos genótipos testados, o que pode estar



relacionado às adaptações realizadas no método, não sendo possível alcançar a eficiência prevista (Paes e Barbosa, 2019).

Considerações finais

Até o momento, foi possível identificar grande variabilidade entre os genótipos de milho em relação ao rendimento do endosperma, teor de amido e extratibilidade.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Referências

- ANP. Etanol. 2024. Disponível em: <http://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/produção-e-fornecimento-de-biocombustíveis/etanol>. Acesso em: 2 de setembro de 2024.
- AWOLU, Olugbenga Olufemi et al. Physicochemical evaluation and Fourier transform infrared spectroscopy characterization of quality protein maize starch subjected to different modifications. *Journal of Food Science*, v. 85, n. 10, p. 3052-3060, 2020.
- BARBOSA, N. A. et al. Extratibilidade de amido em milhos coloridos. 2014.
- DIYANA, Z. N. et al. Physical properties of thermoplastic starch derived from natural resources and its blends: A review. *Polymers*, [s. l.], v. 13, n. 9, p. 5–20, 2021.
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Etanol – matérias primas e processo de produção a partir do milho. Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2021.
- FIGUEROA, Yetzury et al. Effect of sugar addition on glass transition temperatures of cassava starch with low to intermediate moisture contents. *Carbohydrate polymers*, v. 146, p. 231-237, 2016.
- HOYOS-LEYVA, J. D. et al. Morphological, physicochemical and functional characteristics of starch from *Marantha ruiziana* Koern. *LWT-Food Science and Technology*, v. 83, p. 150-156, 2017.
- PAES, M. C. D.; BARBOSA, N. A. Metodologia de determinação da extratibilidade e isolamento de amido de grãos de milho por via úmida em escala laboratorial. Sete Lagoas, MG: [s.n.], out. 2019.
- SAMPAIO, Camila; DE ASSIS, Douglas Ricardo. Etanol de milho: novas perspectivas no mercado brasileiro. *Revista Interface Tecnológica*, v. 20, n. 2, p. 751-761, 2023.
- TESSEMA, A.; ADMASSU, H. Extraction and characterization of starch from anchote (*Coccinia abyssinica*): physico-chemical, functional, morphological and crystalline properties. *Journal of Food Measurement and Characterization*, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 3096–3110, 2021.



OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE BIOCHAR DE JERIVÁ PARA ADSORÇÃO DE H₂S E CO₂ EM BIOGÁS

Julianno Pizzano Ayoub¹, Luana de Souza Just², José Osmar Castagnolli Junior², Yohana Weber Ozório², Pedro Henrique Weirich Neto¹

¹ Programa de Pós-graduação em Bioenergia, Laboratório de Mecanização Agrícola, Universidade Estadual de Ponta Grossa (Lama/UEPG)

² Laboratório de Biocombustíveis, Universidade Estadual de Ponta Grossa

Palavras-chave: sustentabilidade, biometano, biodigestor, *Syagrus romanzoffiana*

Resumo

Este trabalho teve como objetivo produzir e caracterizar biocarvões a partir do endocarpo de jerivá para avaliação de seu potencial como material adsorvente na purificação de biogás, especificamente para a remoção de H₂S e CO₂. Os materiais foram produzidos via pirólise em um intervalo de temperatura de 500 a 900 °C. A caracterização morfológica por MEV-FEG evidenciou uma superfície heterogênea, com a formação e o crescimento progressivo de uma estrutura porosa em temperaturas mais elevadas. A análise do Ponto de Carga Zero (PCZ) revelou um valor de 7.43 para o biocarvão produzido a 800 °C. Os resultados indicam que o biocarvão de jerivá é um material viável e promissor para o aprimoramento da qualidade do biogás, sendo a amostra tratada termicamente a 800 °C a que apresentou as características mais adequadas para esta finalidade.

Introdução

O biogás consolida-se como uma fonte energética relevante na bioenergia, cujo potencial de expansão é significativo tanto em ambientes urbanos quanto rurais. Este biocombustível é produzido via digestão anaeróbia de matéria orgânica, como a biomassa residual provenientes de atividades agropecuárias. (Chen, et al. 2022) Entretanto, a produção de biometano enfrenta alguns desafios, como na remoção eficiente do sulfeto de hidrogênio (H₂S) e do dióxido de carbono (CO₂). O H₂S, acelera processo de corrosão em equipamentos e motores, envenenamento de catalisadores e emissões atmosféricas prejudiciais, e o CO₂ reduz drasticamente o poder calorífico do gás. Como uma solução promissora para esse problema, o *biochar* surge como um material sustentável e eficaz na remoção desses compostos.

O *biochar* é um material carbonáceo poroso caracterizado por sua alta estabilidade térmica, área superficial específica elevada, porosidade acentuada e a presença de diversos grupos funcionais superficiais. Tais propriedades lhe conferem aplicações diversificada, que se estendem da agricultura e remediação ambiental, até seu uso como fonte de energia e matéria-prima em setores avançados, como a eletrônica e a construção civil (Singh; Goyal; Sinha, 2025). Sua eficácia na adsorção de poluentes é comprovada por estudos, que demonstram, por exemplo, sua capacidade de remover corantes sintéticos (Munir et al., 2025).

O biochar pode ser obtido de diferentes fontes de biomassa. O potencial de utilização das espécies da biodiversidade deve ser fruto da adequada combinação entre disponibilidade de matéria prima, tecnologia e mercado. A *Syagrus romanzoffiana*, pertence à família Arecaceae, comumente encontrada



no sul da América do Sul, é uma palmeira nativa da Mata Atlântica, sendo conhecida popularmente como jerivá ou coquinho (Dalzoto et al., 2019; Weirich Neto et al., 2020).

Portanto, este trabalho tem como objetivo a produção e caracterização de *biochar* derivado do endocarpo de *Syagrus romanzoffiana*, visando a sua utilização como material adsorvente na purificação de biogás, especificamente na remoção dos contaminantes H₂S e CO₂ para a obtenção de biometano.

Material e métodos

O endocarpo de *Syagrus romanzoffiana* (jerivá), coletado na região de Uvaranas, município de Ponta Grossa-PR, foi limpo e processado manualmente para produção de biocarvão (BC) via pirólise em diferentes temperaturas. O processo foi realizado em sistema fechado com limitada entrada de oxigênio, em diferentes temperaturas, por uma hora. Paralelamente, obteve-se biocarvão a partir de endocarpos pré-tratados com acetona (BCA), seguido da mesma metodologia de pirólise. As amostras resultantes foram caracterizadas por microscopia eletrônica de varredura por efeito de campo (FEG-MEV), da marca 49 TESCAN Modelo Mira 3 LM, espectroscopia de absorção na região do infravermelho (FTIR) Shimadzu, modelo IRPrestige-21 e potencial Zeta Nano Zs90 / Malvern Também foram realizados ensaios de capacidade adsorptiva utilizando os corantes: Azul de Metileno, Vermelho Congo e Amarelo Crepúsculo.

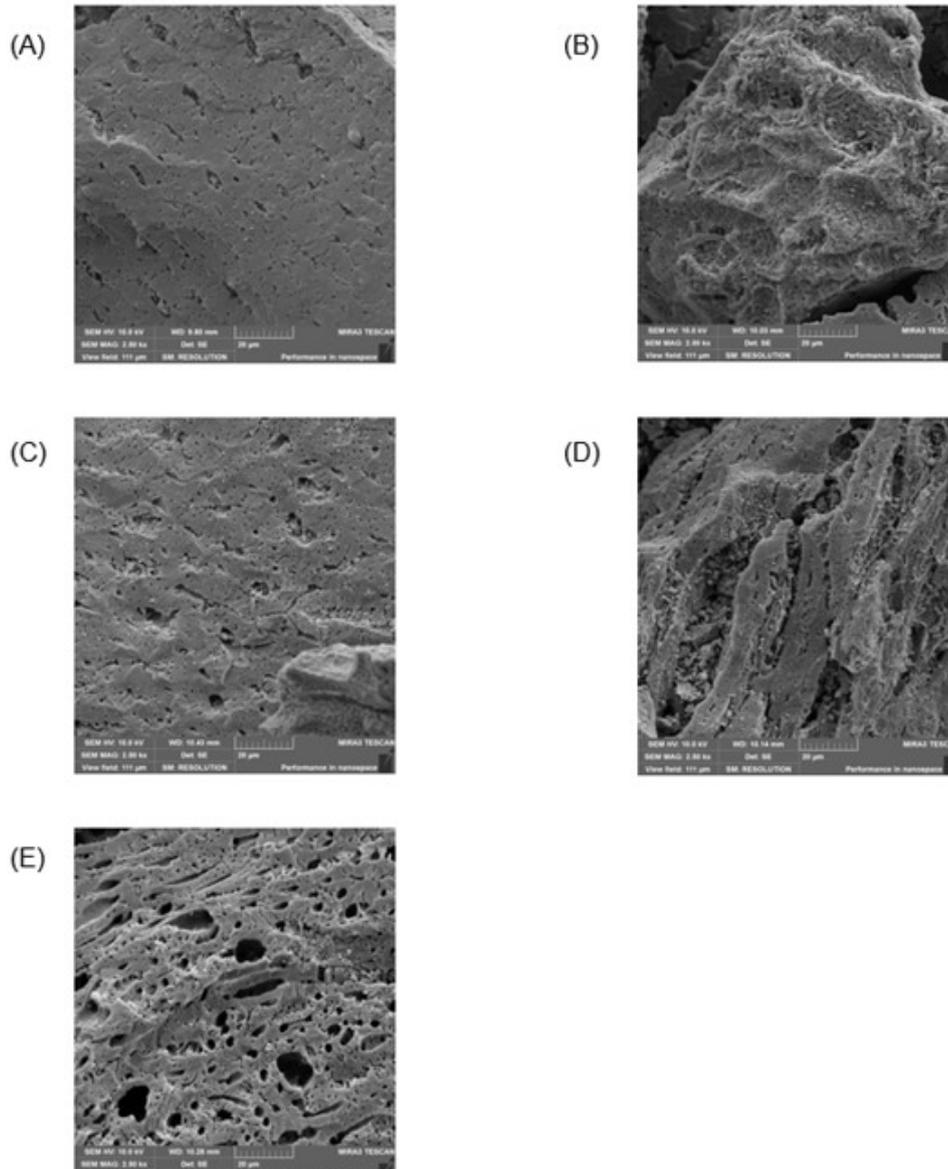
Resultados e Discussão

O ponto de carga zero (PCZ), que determina o pH no qual a superfície de um adsorvente possui carga neutra, foi determinado para os materiais produzidos a 800 °C. sendo de aproximadamente 7,43 para as amostras sem e com tratamento com acetona, caracterizando suas superfícies como neutras nesse pH. Desta forma, quando o pH estiver abaixo de 7,43, a superfície dos biocarvões estará carregada positivamente, favorecendo a adsorção de corantes aniônicos, como o Vermelho Congo e o Amarelo Crepúsculo. Por outro lado, quando o pH for superior ao PCZ, a superfície adquire carga negativa, o que promove a atração e adsorção de espécies catiônicas, como o corante Azul de Metileno

A análise das características morfológicas do biocarvão de jerivá foi realizada MEV-FEG. A Figura 1 exibe as micrografias correspondentes às amostras BCA nas diferentes temperaturas de pirólise para as temperaturas de 500 °C (A), 600 °C (B), 700 °C (C), 800 °C (D) e 900 °C (E).

As imagens revelam uma predominância de partículas com formato e dimensões irregulares em ambos os materiais, o biocarvão derivado do endocarpo tratado com acetona (BCA) exibe mudanças estruturais nas temperaturas de 600 °C, 800 °C e 900 °C (Figura 1). Um dos fenômenos mais notáveis observados no BCA é o surgimento e acentuação de uma estrutura porosa, cujas dimensões médias evoluem de aproximadamente 1,117 μm a 500 °C para 3,465 μm a 900 °C.

Figura 1 - Micrografias obtidas por MEV-FEG do biocarvão de Jerivá previamente tratado com acetona, sendo: 500 °C (A), 600 °C (B), 700 °C (C), 800 °C (D), 900 °C (E)



Considerações finais

Este trabalho produziu e caracterizou biocarvões a partir do endocarpo de jerivá para avaliar seu potencial como adsorvente na purificação de biogás, focando na remoção de CO₂ e H₂S.



As análises de MEV-FEG mostraram que temperaturas mais altas de pirólise, principalmente 800 °C e 900 °C, desenvolveram estrutura porosa acentuada no material. Este aumento na porosidade pode ser favorável a adsorção de gases.

O Ponto de Carga Zero (PCZ) próximo a 7,43, determinado para a amostra de 800 °C, indica uma superfície neutra nesse pH. Esta característica é vantajosa para a adsorção dos gases ácidos H₂S e CO₂, que predominam no biogás. Portanto, o biocarvão de jerivá, especialmente o produzido a 800 °C, demonstrou ter propriedades promissoras, como porosidade desenvolvida e um PCZ adequado, para ser aplicado como um material adsorvente na purificação de biogás. Para uma compreensão mais abrangente do material, estudos futuros devem incorporar outras técnicas de caracterização, como por exemplo, análise de área superficial por físsisoção de nitrogênio. Adicionalmente, pesquisas devem focar em testes de capacidade de adsorção específica em sistemas dinâmicos para confirmar sua eficiência e seletividade na remoção dos gases-alvo. Pesquisas futuras devem focar em testes de capacidade de adsorção específica para confirmar sua eficiência

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Fundação Araucária, o programa de Bioenergia, a Universidade Estadual de Ponta Grossa, os orientadores e demais pesquisadores envolvidos



Referências

DALZOTO, L. M.; GARCIA, L. C.; SOUZA, E. C. F. de; ZARDO FILHO, R.; ANTUNES, S. R. M.; PAYRET-ARRÚA, M. E.; WEIRICH NETO, P. H.; GOMES, J. A.; SOUZA, N. M. de; ROCHA, C. H. Filter Performance in the Reduction of Hydrogen Sulphide in Biogas. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 6, p. 16-24, 2019.

MUNIR, R.; MUNEER, A.; ALBASHER, G.; ABBAS, F.; NOREEN, S. Sustainable adsorbents: Metal oxide-biochar nanocomposites from Maize Stalks and Wild Tamarind residues for dye removal and phytotoxicity assessment. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 29, p. 101447, 2025.

SINGH, R.; GOYAL, A.; SINHA, S. Global insights into biochar: **Production, sustainable applications, and market dynamics. Biomass and Bioenergy**, v. 194, p. 107663, 2025.

YANG, X.; ZHANG, X.; NGO, H. H.; GUO, W.; HUO, J.; DU, Q.; ZHANG, Y.; LI, C.; YANG, F. Sorptive removal of ibuprofen from water by natural porous biochar derived from recyclable plane tree leaf waste. **Journal of Water Process Engineering**, v. 46, p. 102627, 2022.

ZENG, L.; LUO, D.; LIU, L.; HUANG, X.; LIU, Y.; WEI, L.; XIAO, T.; WU, Q. Alkali/Fe-modified biochar for Cd-As contamination in water and soil: Performance and mechanism. **Environmental Technology & Innovation**, v. 32, p. 103381, 2023.

Weirich Neto, P. H., Delalibera, H. C., Souza, N. M., Martini, J., & Gomes, J. A. Syagrus romanzoffiana (Cham.) Glass. Palm Frut Energy Capacity. **Energia na Agricultura**, 35(2), 225–235, 2020. <https://doi.org/10.17224/EnergAgric.2020v35n2p225-235>



BIOCHAR DE BAMBU FUNCIONALIZADO COMO ELETROCATALISADOR SUSTENTÁVEL PARA A REAÇÃO DE EVOLUÇÃO DE HIDROGÊNIO

Marcel Ricardo Nogueira de Oliveira¹, Marcelo Basso Lacerda¹, Maria Elena Payret Arrúa¹, Pedro Henrique Weirich Neto¹, Sandra Regina Masetto Antunes²

¹ Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), Programa de Pós-graduação em Bioenergia

² Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), Departamento de Química

Palavras-chave: Biocarvão, eletrocatalisador, processamento, ativação física, sorvente

Resumo

O hidrogênio verde surge como uma alternativa crucial para a descarbonização da matriz energética, porém, a eficiência de sua produção via eletrólise da água é limitada pela cinética das reações de evolução de hidrogênio (HER). Este trabalho investigou o uso de biochar, produzido a partir do resíduo agroflorestal *Bambusa vulgaris*, como um eletrocatalisador sustentável e de baixo custo para a HER. O biochar foi obtido por duas metodologias: pirólise a 600 °C (com e sem ativação química com KOH/H₃PO₄) e carbonização hidrotérmica seguida de ativação física a 500 °C. As amostras foram caracterizadas por análise imediata, fisiossorção de N₂, microscopia eletrônica de varredura (MEV-FEG) e ensaios de adsorção com azul de metileno. As imagens de MEV-FEG revelaram mudanças morfológicas significativas, com a formação de poros heterogêneos, especialmente nos materiais ativado. Os ensaios de adsorção indicaram que as amostras hidrotermais apresentaram maior eficiência, atribuída a cargas superficiais negativas que atraem o corante catiônico, enquanto a ativação com KOH pode ter gerado superfícies com cargas positivas. Os resultados demonstram a viabilidade de utilizar biochar de bambu e correlacionar suas propriedades físico-químicas com a atividade catalítica, abrindo caminho para o desenvolvimento de materiais eficientes e sustentáveis para a produção de hidrogênio verde.

Introdução

O hidrogênio verde, produzido pela da eletrólise da água usando energias renováveis, representa uma alternativa promissora para a descarbonização da matriz energética (IEA, 2021). No entanto, a eficiência desse processo é limitada pelas reações eletroquímicas envolvidas, principalmente as Reações de Evolução de Oxigênio (OER) e Hidrogênio (HER), que apresentam significativas barreiras cinéticas (Seh et al., 2017).

Os eletrocatalisadores são materiais essenciais para superar essas barreiras, atuando na aceleração das reações eletroquímicas sem serem consumidos no processo (Jiao et al., 2021). Embora catalisadores baseados em metais nobres sejam eficientes, seu alto custo e escassez limitam sua aplicação em escala industrial (Ferrari et al., 2022). Neste contexto, o *biochar*, material carbonáceo obtido a partir da conversão termoquímica de biomassa residual, surge como uma alternativa sustentável e de baixo



custo para aplicação como eletrocatalisador (Lee et al., 2020). Sua estrutura porosa e a possibilidade de funcionalização com heteroátomos permitem o desenvolvimento de materiais com atividade catalítica promissora para a HER.

A possibilidade de utilizar resíduos agroflorestais como matéria-prima não apenas reduz drasticamente o custo do catalisador, mas também se alinha perfeitamente com os princípios da economia circular e da sustentabilidade.

Este trabalho tem como objetivo a produção e caracterização de biochar funcionalizado para aplicação como eletrocatalisador na reação de evolução de hidrogênio, visando contribuir para o desenvolvimento de materiais sustentáveis para a produção de hidrogênio verde, correlacionando os parâmetros de síntese com a atividade catalítica.

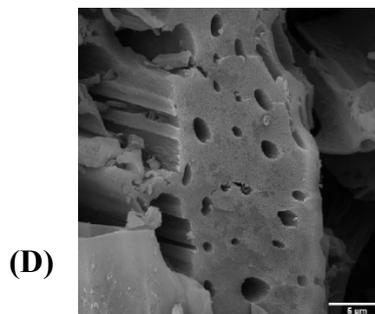
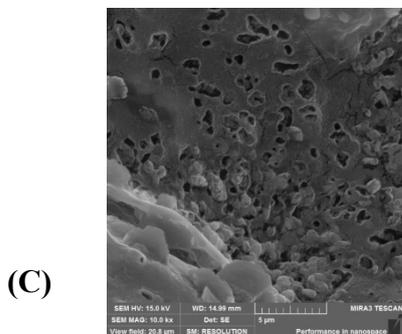
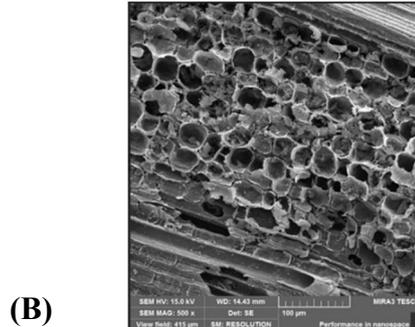
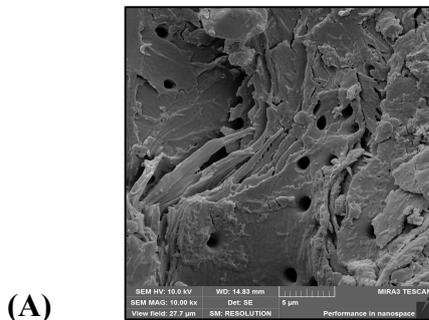
Materiais e Métodos

A coleta do bambu da espécie *Bambusa vulgaris* foi realizada no Campus Uvaranas da Universidade Estadual de Ponta Grossa, localizado no município de Ponta Grossa, Paraná, em local de coordenadas geográficas 25°05'20.9" S, 50°06'07.7" O. Os biocarvões foram obtidos por duas metodologias distintas: pirólise à 600 °C com ativação química e carbonização hidrotérmica com ativação física a 500°C. No primeiro método, a biomassa de bambu foi impregnada com solução ativante (KOH ou H₃PO₄ 3 mol L⁻¹) na proporção de 10% (m/v) e subsequentemente submetida à pirólise a 600 °C por 15 minutos. No segundo método, a biomassa passou por um tratamento hidrotérmico em reator sob diferentes temperaturas para produção de *hydrochar*, que posteriormente foi ativado fisicamente. As amostras resultantes foram caracterizadas por meio de análise imediata, análise de fissorção de nitrogênio pelos métodos (Quantachrome Instruments, modelo Novatouch 2 LX TM), microscopia eletrônica de varredura de emissão de campo (MEV-FEG) (TESCAN, MIRA 3) e ensaios de capacidade adsorptiva utilizando o corante azul de metileno.

Resultados e Discussão

A eficiência de um material como eletrocatalisador está intrinsecamente ligada às suas propriedades físico-químicas. Desta forma, os biocarvões obtidos, pelos dois processamentos, foram caracterizados quanto à sua morfologia, área superficial e potencial superficial, cujos resultados são fundamentais para correlacionar as estruturas com a atividade catalítica na reação de evolução de hidrogênio. Na figura 1 são mostradas as imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura por efeito de campo (MEV-FEG) do material *in natura* e dos biocarvões obtidos pelos dois diferentes processamentos.

Figura 1. Imagens obtidas por MEV-FEG: A) bambu *in natura*, B) biochar obtido por pirólise sem ativação, C) biochar obtido por pirólise com ativação com KOH e D) biochar obtido via hidrotérmico e ativado fisicamente.



As imagens contidas na Figura 1 mostram mudanças morfológicas significativas na estrutura do bambu, resultantes dos diferentes processamentos e tratamentos termoquímicos aplicados. Os poros gradados, mostrados nas figuras 1 C e D, são heterogêneos em tamanho e forma. A influência desses resultados como materiais sorventes foi analisada com ensaios de eficiência de sorção do azul de metileno. As amostras hidrotermais foram mais eficientes na adsorção do azul de metileno, provavelmente devido à presença de cargas superficiais negativas, que atraem o corante catiônico. Já a ativação com KOH pode ter criado grupos funcionais básicos, resultando em superfícies com carga positivas.

Considerações finais

Os diferentes processamentos termoquímicos aplicados ao bambu (*Bambusa vulgaris*) foram eficazes na modificação da morfologia e das propriedades superficiais do biochar, confirmando o potencial deste material residual como precursor para eletrocatalisadores.

A carbonização hidrotérmica seguida de ativação física produziu um material com características superficiais promissoras, evidenciadas pela maior eficiência na adsorção do azul de metileno, o que sugere uma superfície com cargas negativas potencialmente favoráveis à reação de evolução de hidrogênio (HER).



A presença de cargas superficiais negativas e poros heterogêneos nas amostras hidrotermais, provavelmente, favorece sua aplicação como eletrocatalisadores, possivelmente facilitando a interação com espécies iônicas e aumentando a acessibilidade dos sítios ativos durante processos eletroquímicos.

Agradecimentos



Referências

FERRARI, A. et al. Cost and Performance Challenges for Earth-Abundant Electrocatalysts in Water Splitting. **Advanced Energy Materials**, v. 12, n. 15, p. 2103245, 2022.

GLAUCIA L. FERREIRA et al. **PROCESSO DE OBTENÇÃO DE UM MATERIAL ADSORVENTE (BIOCHAR)**. Depositante: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA. BR 102021016225-2 A2. Depósito: 17 ago. 2021. Concessão: 23 fev. 2023. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Hydrogen Review 2021**. Paris: IEA, 2021.

JIAO, Y. et al. Designing Atomically Dispersed Metal Sites for Electrocatalytic Energy Conversion Reactions. **Chemical Society Reviews**, v. 50, n. 18, p. 10388-10414, 2021.

LEE, J. H. et al. Waste-to-Wealth: Lignin-Derived Materials for Electrocatalysis. **Advanced Functional Materials**, v. 30, n. 52, p. 2005537, 2020.

SEH, Z. W. et al. Combining Theory and Experiment in Electrocatalysis: Insights into Materials Design. **Science**, v. 355, n. 6321, p. 1-9, 2017.



A IMPLANTAÇÃO DE BIODIGESTOR EM AMBIENTE ESCOLAR: UMA ANÁLISE ECONÔMICA, SOCIAL E AMBIENTAL

Sauana Haeffner Centenaro¹; Maria Cristina Souza³; Samantha de Paula Batista⁴; Paulo Cesar Rezende de Carvalho Alvim⁵; Amarildo Hersen²

^{1,2,3,4,5} Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná - UNICENTRO

Palavras-chave

Economia Circular, sustentabilidade, educação ambiental.

Resumo

O objetivo da pesquisa foi analisar existência de benefícios econômicos, sociais e ambientais resultantes da instalação de biodigestor em ambiente escolar. O estudo de caso ocorreu na Escola Municipal do Campo Santa Anita, comunidade rural Santa Anita, em Turvo-PR. A metodologia empregada é de indicadores de viabilidade econômica (VPL, TIR e payback descontado) para realização da análise econômica e matriz de SWOT para análise social e ambiental. Os resultados sugerem além da viabilidade econômica, benefícios sociais e ambientais. Conclui-se que a implantação de biodigestor em ambiente escolar proporciona externalidade positiva, com maior consciência ambiental de estudantes, funcionários, professores, familiares e moradores do entorno.

Introdução

Estima-se que aproximadamente 1,3 bilhão de toneladas de alimentos são perdidos ao longo da cadeia de suprimento. O desperdício de alimentos e a emissão de gases de efeito estufa (GGE) mostram-se correlacionados acumulando anualmente aproximadamente 3,3 bilhões de toneladas de CO₂ na atmosfera. (Ajieh et al., 2020)

O gás liquefeito de petróleo (GLP), está listado como uma das fontes de energia muito utilizadas no setor residencial e industrial brasileiro. Segundo Jong et al. (2023), em 2022 foram consumidos 13,6 milhões de m³ de GLP, sendo que 80% é consumido no setor residencial. Diferente do GLP, o biogás tem participação ainda pequena no Brasil (Epe, 2024).

O biogás é uma forma moderna de bioenergia que pode ser produzida por meio da digestão anaeróbica (DA) de uma variedade de fontes de biomassa, normalmente constituído de 50% -75% de metano (Irena, 2017). Gioda (2018) comparou diferentes combustíveis domésticos, usados para cocção no Brasil e concluiu que o biogás é de menor impacto ambiental em toda a cadeia. Chowdhury et al. (2022) acrescentam que o uso do biogás tem papel contributivo no alcance dos ODS.

O ambiente escolar é um espaço para conhecimento e realização de práticas sustentáveis. Para Capra (2006), as experiências realizadas em escolas mostram que a melhor maneira de alcançar uma educação para a sustentabilidade é fazer os alunos se envolverem, intelectual e emocionalmente, em um projeto ecológico concreto. O objetivo da pesquisa foi analisar a existência de benefícios econômicos, sociais e ambientais da instalação de biodigestor em ambiente escolar.

Material e métodos

O estudo se deu em escola pública da comunidade rural Saudade Santa Anita, do município do Turvo-PR. O espaço escolar é compartilhado, funcionando a Escola Municipal do Campo, com Educação



Infantil e Ensino Fundamental I e a Escola Estadual Joanna Lechiw, com Ensino Fundamental II. As escolas juntas totalizam 10 turmas, 123 alunos e 34 funcionários. Foi realizado levantamento do consumo de GLP e volume do resíduo orgânico proveniente do preparo e sobra de alimento (Tab. 01):

Tabela 01: Especificações do consumo de GLP e resíduo orgânico produzido no ambiente escolar

Elemento	Grandeza
Consumo de GLP/semana	13 kg
Custo do GLP/unidade (13 kg)	R\$ 117,00
Produção de resíduo orgânico/semana	200 kg

Fonte: Os Autores

Com relação ao biodigestor o mesmo foi adquirido pela prefeitura municipal, por meio de processo licitatório, e instalado no pátio da Escola, entrando em atividade a partir de agosto de 2024. A capacidade de produção de biogás do biodigestor instalado, considerando também a quantidade produzida de resíduo orgânico resultante de restos de alimentos, é de um botijão de GLP (13 kg) equivalente a cada dezenove dias, o que equivale a 1,58 botijão por mês.

Para a análise econômica, se considerou como entrada de caixa o custo evitado com a aquisição de GLP. Como saída de caixa foram considerados: (i) o investimento realizado na aquisição de biodigestor (licitação); (ii) custos com ativação (água e esterco); custo de alimentação do biodigestor (água + restos de alimentos). O valor investido pela prefeitura municipal, via processo licitatório, foi de R\$ 13,8 mil reais. Já para o custo de ativação, sua composição consta na Tabela 02.

Tabela 02: Composição do custo de ativação do biodigestor

Elemento	Quantidade	Preço unitário	Valor total
Água	4 m ³	R\$ 24,40/m ³	R\$ 97,60
Esterco	400 kg	R\$ 120,0/ton	R\$ 48,00

Fonte: Os Autores

Em termos de custo operacional (alimentação), considerou-se a necessidade de seis litros de água, adicionados aos restos de comida, por cinco dias da semana, ao longo da vida útil do projeto. Não foi atribuído valor econômico ao biofertilizante, sendo este aproveitado na horta comunitária local. A vida útil do equipamento e do projeto é dez anos.

Trabalhou-se com valores constantes de ago./24, a taxa mínima de atratividade (TMA) foi definida a partir da taxa Selic (10,5% a.a.), em vigor em ago./24 (Bacen, 2024), descontando-se a inflação dos últimos 12 meses (set./23-ago./24). O índice de inflação foi o IPCA, que no período acumulou alta 4,24% (Ibge, 2024). Estimou-se a taxa real de juros pela equação de Fisher (Corporate Finance Institute, 2024), resultando em TMA de 6,01% a.a. As métricas para a análise de investimentos são as sugeridos por Eletrobrás et al. (2008): VPL, TIR e Payback descontado.

Já para a análise de benefícios sociais e ambientais utilizou-se a matriz de SWOT. Bergmann e Silva (2023) salientam ser uma ferramenta que pode oferecer percepções significativas para instituições, empresas e organizações e sua adoção se popularizou e extrapola o contexto empresarial. O Quadro 01 apresenta a Matriz SWOT, com análise subsequente adaptada para a presente pesquisa.



Quadro 01: Matriz SWOT

Fatores	Positivos	Negativos
Internos	[S] <i>Strengths</i> (forças)	[W] <i>Weaknesses</i> (fraquezas)
Externos	[O] <i>Opportunities</i> (oportunidades)	[T] <i>Threats</i> (ameaças)

Fonte: Adaptado de Oliveira (1987).

As “forças” são os pontos fortes associados à reputação positiva do projeto e impactos, inclui gestão eficaz, características que desempenham papel fundamental em seu sucesso, envolve o perfil inovador, a popularidade alcançada, etc. As “fraquezas” evidenciam falhas/carências, comprometendo sua capacidade de continuar existindo. Pode estar associada a baixa participação e alcance, falta de capacitação técnica, entre outros. Já as “oportunidades” são fatores externos favoráveis que abrem portas para atividades de divulgação capazes de gerar benefícios para o projeto, resultando em destaque ou diferencial. Por fim, as “ameaças” são características do ambiente externo que podem exercer impactos negativos sobre o projeto, podem estar ligadas a consequências resultantes de alterações políticas, dinâmicas econômicas, mudanças tecnológicas/legislativas, que vão além da capacidade de controle. (Fine, 2011)

Resultados e Discussão

Com base nas informações levantadas e fornecidas pela Secretaria Municipal de Educação do Turvo, estimou-se os indicadores para análise de viabilidade econômica do biodigestor (Tabela 03).

Tabela 03: Síntese de indicadores para análise de viabilidade econômica

Indicador	Grandeza
Capacidade de produção (kg equivalente GLP/ano)	246,48
Valor do Projeto (R\$)	13.800,00
Vida útil do projeto (ano)	10
VPL (R\$)	1.919,29
TMA (% a.a.)	6,01
TIR (% a.a.)	8,80
Pay-back descontado (ano)	9

Fonte: Os autores

O VPL estimado mostrou-se positivo (sugere recuperação do investimento). A TIR de 8,8%, superior a TMA (6,01%), sugere que o investimento é atrativo e a recuperação do investimento se dá no 9º ano. A biomassa disponível não possibilita substituição total do GLP (o consumo é de 4 unid. de 13 kg/mês e a autoprodução possível de biogás é de 1,58 unid. de 13 kg/mês de equivalente em GLP). A análise de SWOT (Tab. 06), amplia a análise para as esferas social e ambiental.

Quadro 02: Matriz SWOT resultante

Fatores	Positivos	Negativos
---------	-----------	-----------



Internos	<ul style="list-style-type: none"> → Gestão sustentável de resíduos; → Redução de desembolso com aquisição de GLP; → Ambiente prático para educação ambiental; → Educação ambiental contínua de alunos, professores e servidores; → Biofertilizante para a horta comunitária. 	<ul style="list-style-type: none"> → Trabalho adicional para as merendeiras; → Dificuldade de integrar à rotina escolar; → Aumento no consumo/desembolso com água; → Insuficiente quantidade de resíduo orgânico para substituição plena de GLP/Biogás; → Possibilidade de odores ou problemas sanitários internos.
Externos	<ul style="list-style-type: none"> → Redução no consumo de combustíveis fósseis; → Externalidade positiva: mudanças de hábitos e cultura das famílias dos alunos; → Consciência ambiental das famílias no entorno; → Escola modelo para as demais da rede de ensino; → Menor emissão de GEE. 	<ul style="list-style-type: none"> → Custo do equipamento; → Falta de políticas públicas de incentivo; → Eventos climáticos extremos; → Mudanças na gestão pública.

Fonte: Os autores

A matriz SWOT sugere que os benefícios sociais, dado o menor desembolso com GLP, podem surgir a partir de maior disponibilidade orçamentária e melhor atenção às demandas prioritárias como saúde e educação. Também há oportunidade de mudança cultural, não somente de alunos e funcionários, mas também familiares e residentes no entorno da escola.

Em termos de benefícios ambientais, esses estão associados à correta destinação de resíduos orgânicos; menor emissão de GEE; redução do consumo de combustível fóssil; disponibilidade de biofertilizante para a horta comunitária, com eventual substituição de fertilizantes químicos.

Considerações finais

Os resultados sugerem benefício econômico, visto que o projeto é economicamente viável (VPL positivo), $TIR > TMA$ e o tempo de recuperação do capital investido dentro da vida útil do projeto. Benefícios sociais e ambientais também foram identificados: possibilidade de o orçamento público municipal dar maior atenção às demandas prioritárias (saúde, educação) dada a redução de desembolso com GLP; oportunidade de mudança cultural das famílias de alunos, funcionários e residem do entorno da escola; correta destinação de resíduos orgânicos; menor emissão de GEE; menor consumo de combustível fóssil; biofertilizante para a horta comunitária.

Conclui-se que a implantação de biodigestor em ambiente escolar, semelhante ao ocorrido na Escola Municipal do Campo Santa Anita, pode apresentar aspectos não somente econômicos, mas sociais e ambientais relevantes, proporcionando externalidade positiva, e servir de modelo para maior consciência ambiental da comunidade escolar e moradores do entorno.

Agradecimentos

Às agências de fomento: CNPq e Fundação Araucária.

Referências



AJIEH, M. U.; OGBOMIDA, E. T.; ONOCHIE, P. U.; AKINGBA, O.; KUBEYINJE, F. B.; OREROME, R. O.; OGBONMWAN, S. M. Design and construction of fixed dome digester for biogas production using cow dung and water hyacinth. **African Journal of Environmental Science and Technology**, Victoria Island, v. 14, n. 1, p. 15-25, jan. 2020.

BACEN- Banco Central do Brasil. **Taxas de juros básicas – histórico**. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros>. Acesso em 07 dez. 2024.

BERGMANN, B. H.; SILVA, M. M. SWOT matrix applied to strategic diagnosis: an academic perspective of knowledge construction from the insertion of research groups. **E-TECH**, v.16, n1, 2023

CAPRA, F. **Alfabetização ecológica**: a educação das crianças para um mundo sustentável. Traduzido por Carmem Fisher. São Paulo: Cultrix, 2006.

CHOWDHURY, H.; CHOWDHURY, T.; SHARIFI, A.; CORKISH, R.; SAIT, S. M. Role of Biogas in Achieving Sustainable Development Goals in Rohingya Refugee Camps in Bangladesh. **Sustainability**, v. 14, n.11842, p.01-15, 2022.

CORPORATE FINANCE INSTITUTE. **Fisher equation**. Disponível em: <https://corporatefinanceinstitute.com/resources/economics/fisher-equation/>. Acesso em 15 out. 2024.

ELETOBRÁS; CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA; PROCEL INDÚSTRIA. **Análise econômica de investimento**: guia básico. Brasília: IEL/NC, 2008. 85p

EPE- Empresa de Pesquisa Energética. **BEN-Relatório Síntese 2024, Ano base 2023**. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/_publicacao-819/topico-715/BEN_S%C3%ADntese_2024_PT.pdf. Acesso em: 5 fev. 2025.

FINE, L. G. **The SWOT Analysis**: using your strength to overcome weaknesses, using opportunities to overcome threats. Kick It, LLC: 2011.

GIODA, A. Comparação dos níveis de poluentes emitidos pelos diferentes combustíveis utilizados para cocção e sua influência no aquecimento global. **Quim. Nova**, v. 41, n. 8, p. 839-848, 2018.

IBGE-INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Índice nacional de preços ao consumidor amplo**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/7060>. Acesso em: 3 dez. 2024.

IRENA- International Renewable Energy Agency. Biogas for domestic cooking technology brief. 2017. Disponível em: <https://www.irena.org/Publications/2017/Dec/Biogas-for-domestic-cooking-Technology-brief>. Acesso em: 23 fev. 2025.

JONG, P.; TORRES, E. A.; MELO, S. A. B. V.; MENDES-SANTANA, D.; PONTES, K. V. Socio-economic and environmental aspects of bio-LPG and bio-dimethyl ether (Bio-DME) production and usage in developing countries: the case of Brazil. **Cleaner and Circular Bioeconomy**, v.6, p.1-8, 2023.

OLIVEIRA, D. P. R. **Planejamento Estratégico**: conceitos, metodologia e práticas. SP: Atlas, 1987.



GESTÃO OPERACIONAL E DE MANUTENÇÃO EM USINAS SOLAR FOTOVOLTAICA

Guilherme Pinheiro Salvador¹

Pedro Henrique Capriglione¹

Pedro Augusto Arroyo¹

¹Universidade Estadual de Maringá

Palavras-chave

Gerenciamento de Projetos, Gestão de Ativos, RCM, PMBOK, ISO55000

Resumo

A energia solar fotovoltaica consolidou-se como uma solução estratégica e uma das principais fontes da matriz elétrica brasileira, porém seu desenvolvimento enfrenta desafios como a falta de padronização gerencial e a escassez de mão de obra qualificada. Para superar essas barreiras, este trabalho propõe uma estrutura de gerenciamento integrada para usinas solares fotovoltaicas, visando aumentar a eficiência, transparência e segurança nas fases de implantação, execução e manutenção dos projetos, com aplicação específica à realidade de Maringá-PR. A proposta integra aspectos táticos e operacionais por meio de três pilares: a Gestão de Projetos, baseada no guia PMBOK, para sistematizar etapas e áreas de conhecimento; a Gestão do Ciclo de Vida, conforme a ISO 55000, abrangendo da definição ao descomissionamento dos ativos; e a Gestão da Manutenção, utilizando a metodologia RCM para garantir disponibilidade e confiabilidade do sistema. O desenvolvimento segue uma ordem cronológica rigorosa e atende às normas técnicas brasileiras e internacionais, buscando criar um documento robusto que oriente atividades operacionais e gerenciais, promova a sistematização dos projetos em suas diferentes etapas e estabeleça diretrizes para a capacitação dos profissionais envolvidos, servindo como referência completa e aplicável para o setor.

Resultados e Discussão

A presente pesquisa propõe e valida um método integrado de gestão para usinas solares fotovoltaicas, fundamentado nas diretrizes da NBR ISO 55000 para gestão de ativos, no método RCM (Reliability Centered Maintenance) para gestão da manutenção e no guia PMBOK para gestão de projetos. O objetivo central é garantir eficiência operacional, confiabilidade, disponibilidade e segurança ao longo de toda a vida útil das instalações.

A abordagem integrada da gestão metodológica e especificidade técnica, oferece um modelo de referência sustentável e alinhado às normas vigentes para implantação, operação e manutenção de usinas solares fotovoltaicas,

Neste trabalho, será realizado um estudo de caso referente à implantação de uma usina solar fotovoltaica de 16,5 KWp, localizada no município de Maringá -PR.

Na primeira etapa do projeto, será apresentado o cronograma estruturado de implementação da usina, composto pelas fases de estudo de viabilidade, dimensionamento técnico detalhado, procedimentos para homologação e vistorias, organização da documentação técnica e legal, cronograma



de execução da obra, comissionamento, além da especificação técnica de equipamentos, componentes e materiais.

Em seguida, será apresentada uma proposta de gestão de ativos fundamentada na norma NBR ISO 55000, a qual orientará e apoiará a adoção de medidas a serem implementadas nas etapas de projeto, comissionamento e operacionalização das usinas.

O plano de gestão da manutenção será estruturado com base no método RCM (Reliability Centered Maintenance), cujo foco é assegurar a confiabilidade e disponibilidade do sistema por meio da definição de planos de manutenção preventiva e corretiva.

A abordagem e a condução do projeto ocorrerão sob a perspectiva da gestão administrativa, contemplando aspectos relacionados ao estabelecimento de processos, gestão de recursos humanos, desenvolvimento de competências dos profissionais envolvidos e boas práticas de gestão de projetos, conforme as orientações do guia PMBOK. A estruturação das etapas e o detalhamento do processo de elaboração e execução do projeto seguirão os princípios e áreas de conhecimento propostos por esse guia.

Considerações finais

Este trabalho propõe uma proposta de estudo e aplicação prática voltada às diferentes abordagens, conceitos e normas aplicáveis ao setor solar fotovoltaico, com o propósito de contribuir para o desenvolvimento do segmento, aprimorando a gestão de processos e a capacitação de profissionais. Diante da complexidade e multidisciplinaridade envolvidas na construção, operação e manutenção de uma usina fotovoltaica, torna-se essencial adaptar e sintetizar o conhecimento técnico e normativo em diretrizes específicas para o setor.

O material desenvolvido busca oferecer clareza e orientação sistemática para todos os envolvidos nas diversas fases do projeto — desde a concepção até o encerramento da vida útil do sistema — assegurando que os objetivos operacionais e os requisitos pré-estabelecidos sejam plenamente atendidos. O estudo visa beneficiar diferentes agentes do setor: empresas integradoras, gestores e engenheiros, ao fornecer uma metodologia que aborde aspectos técnicos, normativos e gerenciais; investidores, ao disponibilizar subsídios para decisões seguras e embasadas; seguradoras e instituições financeiras, ao apresentar diretrizes que reforcem a conformidade técnica e regulatória dos empreendimentos; e instituições de ensino, que podem utilizar este material como base para novas pesquisas e formação de especialistas.

A consolidação de uma abordagem integrada visa maximizar a viabilidade técnica e econômica da implantação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Ao qual, espera-se trazer estes resultados, comprovado pelo estudo de caso da usina de Maringá-PR. O sucesso do projeto evidenciará que a observância rigorosa das etapas interdependentes — desde o estudo de viabilidade até o comissionamento — é determinante para a eficiência e a segurança do sistema.

A estrutura de gestão proposta, que integra as melhores práticas do PMBOK, os princípios da ISO 55000 e a filosofia RCM (Reliability Centered Maintenance), demonstra ser eficaz para enfrentar os desafios técnicos e administrativos dos projetos fotovoltaicos. Essa integração visa garantir, controle eficiente de cronogramas, recursos e riscos, além de estabelecer bases sólidas para a manutenção e a operação sustentável.



O atendimento às normas técnicas brasileiras, especialmente às NBR 5410, NBR 16274 e NTC 901100 da Copel, é fundamental para a homologação e aprovação do projeto. O processo evidenciará a importância da documentação completa, do correto dimensionamento técnico e da conformidade dos equipamentos junto ao INMETRO.

Os resultados obtidos — relacionados a geração média de energia e redução de da emissão de CO₂ na atmosfera e tempo para retorno do investimento — comprovará a viabilidade ambiental e financeira do empreendimento. Mais relevante, contudo, é demonstrar que a aplicação de padrões técnicos rigorosos e de uma gestão integrada torna possível implantar sistemas fotovoltaicos seguros, eficientes e alinhados às exigências regulatórias.

Assim, este trabalho pretende contribuir de forma efetiva para o avanço do setor fotovoltaico brasileiro, servindo como referência técnica e metodológica para profissionais, empresas e instituições de ensino, e reforçando o papel estratégico da geração distribuída na transição energética nacional.

Agradecimentos

Agradeço aos Professores Pedro Arroyo e Daniel Tait pelo suporte e orientação nas atividades realizadas no mestrado; a Maria Sueli, por todo o suporte nas questões administrativas; e ao SENAI, por possibilitar a participação neste programa de mestrado.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 55000 - **Gestão de ativos — Visão geral, princípios e terminologia**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16274: Sistemas fotovoltaicos - características da interface de conexão. Rio de Janeiro, 2014.

COPEL. Norma Técnica de Distribuição - NTC 901100: **Conexão de Unidades Consumidoras com Geração Distribuída em Tensão Secundária**. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz Energética e Elétrica**. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 07/10/2025.

GUIA PMBOK – PMI (**Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos**), Project Management Institute, 6ª edição, 2017.

INMETRO. Portaria n. 140, de 15 de março de 2022. Estabelece os Requisitos Técnicos da Conformidade para Sistemas Fotovoltaicos.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance**: second edition. 2^a. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

VIAN, Angelo *et al.* **Energia solar: fundamentos, tecnologia e aplicação**. São Paulo: Blucher, 2021. Disponível em: <https://biblioteca.aneel.gov.br/acervo/detalhe/240171>.



POTENCIAL ENERGÉTICO DO TRIGO

João Luís Martins Fidelis Filho¹

Jaime Alberti Gomes¹

Luiz Claudio Garcia¹

Pedro Henrique Weirich Neto¹

¹ Programa de Pós Graduação em Bioenergia, Laboratório de Mecanização Agrícola, Universidade Estadual de Ponta Grossa (Lama/UEPG)

Palavras-chave

Bioetanol, sustentabilidade, biorefinaria, classificação de trigo

Resumo

A queima de combustíveis fósseis é a principal fonte de emissões de dióxido de carbono (CO₂), agravando o aquecimento global e impulsionando a necessidade por fontes de energia renovável. Nesse contexto, os biocombustíveis, especialmente o etanol, apresentam-se como alternativa estratégica. No Brasil, a cana-de-açúcar destaca-se como principal matéria-prima para o etanol, especialmente após o Programa Nacional do Alcool (Pró-Alcool). Contudo, sua predominância enfrenta desafios como sazonalidade da produção, variações climáticas e competição territorial com cultivos destinados à alimentação. Como solução complementar, o trigo não qualificado desponta como alternativa para a produção de etanol. O trigo já integra o sistema agrícola, oferecendo excedentes e subprodutos da moagem – como farinhas fora do padrão alimentício. O desenvolvimento de usinas flex, capazes de processar diversas biomassas, reforça o potencial do trigo como insumo estratégico. Diante desse cenário, torna-se relevante investigar o potencial de diferentes tipos de trigo como matéria-prima para etanol no Brasil.

Introdução

A queima de combustíveis fósseis é uma das principais fontes antropogênicas de emissão de gases de efeito estufa (GEE), em especial o dióxido de carbono (CO₂), que retém certos comprimentos de ondas eletromagnéticas, aquecendo atmosfera, intensificando aquecimento global, alterando clima terrestre (TIAN *et al.*, 2018). Esse cenário exige transição energética para fontes renováveis, e os biocombustíveis emergem como alternativa estratégica para substituir parcial ou totalmente os combustíveis fósseis (GRANDIS *et al.*, 2024). Nesse contexto, o etanol se destaca como uma das opções promissora para mitigar emissões, bem como promover segurança energética.

No Brasil, a produção de etanol a partir da cana-de-açúcar foi impulsionada pelo Programa Nacional do Alcool (Pró-Alcool) na década de 1970, consolidando-se como a principal via de descarbonização da matriz de transporte líquido. A vantagem da rota canavieira está na sua,relativamente, elevada eficiência energética e em seus benefícios ambientais quando comparado com



o fóssil (BUCKERIDGE *et al.*, 2012). No entanto, a dependência quase exclusiva dessa matéria-prima enfrenta desafios estruturais. Primordialmente, a safra de cana-de-açúcar apresenta forte sazonalidade, o que implica variações substanciais na oferta de matéria-prima ao longo do ano e períodos de ociosidade nas usinas, ou seja, a cana é vulnerável a eventos climáticos adversos, pois apresenta longo ciclo vegetativo, que pode comprometer a oferta.

Para mitigar essas limitações, estratégias têm sido exploradas. Uma delas é o aproveitamento de resíduos agroindustriais — por exemplo, subprodutos de indústrias de cerveja, farinhas de qualidade inferior, resíduos da indústria de sucos — para produção de etanol de segunda geração (2G) ou em modelos integrados 1G/2G (FARIA *et al.*, 2024). Outra estratégia é a utilização de cereais não qualificados — que normalmente não são empregados na alimentação — como matéria-prima para etanol, diminuindo a pressão sobre a cana-de-açúcar e diversificando a base de insumos.

Nesse sentido, o trigo de qualidade inferior surge como alternativa estratégica, sobretudo para a região Sul do Brasil, responsável por mais de 90% da safra nacional de trigo. O fato de o cereal já estar integrado ao sistema agrícola regional permite o aproveitamento de excedentes e subprodutos da moagem — como farinhas fora do padrão alimentício — a fim de destiná-los à produção de etanol, promovendo uma maior circularidade agroindustrial. Estudos demonstram que farinhas de trigo de qualidade inferior podem ser utilizadas como substrato eficiente para a produção de etanol, por meio de hidrólise enzimática e fermentação simultânea, sem prejuízo significativo ao rendimento alcoólico (NEVES *et al.*, 2006; ERDEI *et al.*, 2010). Da mesma forma, a diversificação das matérias-primas destinadas à produção de biocombustíveis pode reduzir a dependência exclusiva da cana-de-açúcar, especialmente durante o período de entressafra, promovendo maior resiliência ao setor sucroenergético brasileiro (LOPES, 2016).

Além disso, o desenvolvimento de usinas flexíveis, que processam diversas biomassas — como trigo, milho, sorgo e cana-de-açúcar — é um componente-chave dessa estratégia de diversificação. Exemplos no Brasil incluem as instalações da CB Bioenergia (Santiago, RS) e da Be8 (Passo Fundo, RS), que já operam ou projetam operar com trigo junto a outras matérias-primas (BE8, 2024). Essa flexibilidade permite que as destilarias permaneçam ativas ao longo de todo o ano, melhorando eficiência do capital e reduzindo a vulnerabilidade frente à sazonalidade da cana.

Assim, a proposta deste trabalho consiste em explorar o potencial de três tipos de trigo como matéria-prima para produção de etanol, investigando aspectos agrônômicos, de rendimento de fermentação, compatibilidade com a infraestrutura industrial existente e comparação com a cana-de-açúcar, com vistas à sustentabilidade e à redução das emissões de GEE.

Material e métodos

O experimento será realizado nas instalações do Laboratório de Mecanização Agrícola (Lama) da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) e no Laboratório de Biocombustíveis do CTAgrO, O trigo que será adquirido de uma moageira privada.

A pesquisa será conduzida utilizando grãos de trigo, os quais são classificados em diferentes tipos de acordo com o Peso Hectolitro (PH) e com os padrões oficiais de classificação do Ministério da Agricultura e Pecuária estabelecidos na Instrução Normativa nº 38/2020 (Brasil, 2020). Para a



determinação do PH, será utilizada proveta graduada de 1 L para aferição do volume padrão e balança de precisão para mensuração da massa.

A avaliação das matérias estranhas e impurezas será realizada por meio de peneira de crivos oblongos de 1,75 mm × 20 mm. O material retido e o que passar pela peneira será separado e pesado individualmente para determinação do percentual de matérias estranhas e impurezas.

Serão ainda avaliados os grãos chochos, triguilhos e quebrados, classificados com base na retenção ou passagem pelas peneiras e expressos em porcentagem do peso total analisado. Os defeitos como grãos danificados por insetos, ardidos, mofados e deteriorados pelo calor serão identificados visualmente e quantificados mediante pesagem.

Após a classificação, os grãos serão submetidos à moagem em moinho de alta rotação Modelo MA630/1. Aproximadamente 100 g de grãos de cada tipo serão triturados durante 1 minuto, de forma padronizada, para obtenção das farinhas que serão utilizadas no processo de produção de etanol.

Inicialmente, 0,8 kg de farinha de cada tratamento será misturada a 5 L de água e submetida a pré-gelatinização a 60 °C. Em seguida, serão adicionados 10 mL de α -amilase, com posterior aquecimento a 90 °C por 2 horas para liquefação do amido. Durante o processo, o teor de sólidos solúveis será monitorado a cada 20 minutos com refratômetro tipo °Brix, conforme metodologias adaptadas de Costa (2015).

Após resfriamento a 60 °C, serão adicionados 10 mL de amiloglicosidase para conversão das dextrinas em glicose, permanecendo sob agitação leve por 1 hora. Concluída a sacarificação, a mistura será resfriada até 30 °C para adição de leveduras a 10 gL⁻¹. A fermentação ocorrerá por aproximadamente 48 horas, monitorada por liberação de CO₂ e estabilização do °Brix. Ao final, o mosto fermentado será destilado em coluna de Vigreux. O teor alcoólico do destilado será medido com alcoômetro graduado em °GL.

O resíduo líquido obtido será seco em estufa a 60 °C até massa constante, originando o DDGS, que será analisado quanto ao teor de proteína pelo método Kjeldahl (CECHI, 2003).

O rendimento de etanol obtido a partir de cada tipo de trigo será estimado com base no volume coletado, sendo os resultados expressos em L kg⁻¹ de grão e por tonelada de matéria-prima processada. A análise da viabilidade econômica do processo considerará três principais fontes de receita: a comercialização do etanol, cujo valor de referência será definido conforme os preços divulgados pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP); a venda do coproduto DDGS (*Dried Distillers Grains with Solubles*), amplamente utilizado na formulação de rações animais; e a valorização ambiental proveniente dos créditos de carbono gerados pela substituição de combustíveis fósseis, conforme os critérios estabelecidos pelo programa RenovaBio.

Após isso, as variáveis experimentais serão organizadas em delineamento inteiramente casualizados (DIC), com três tratamentos (tipos de trigo) e seis repetições. Os resultados serão avaliados quanto à normalidade (Shapiro-Wilk), homogeneidade de variâncias (Bartlett) e submetidos à comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Resultados e Discussão



Espera-se que o estudo proporcione visão do potencial bioenergético de diferentes tipos de trigo, demonstrando a viabilidade técnica, econômica e ambiental da utilização desse cereal como matéria-prima alternativa para a produção de etanol combustível no Brasil. Entre os genótipos avaliados, espera-se identificar diferenças significativas de conversão amilácea, destacando aqueles com maior teor de amido e melhor perfil fermentativo, capazes de otimizar a produtividade por unidade de matéria-prima.

Os resultados esperados deverão indicar que a integração do trigo como insumo alternativo nas usinas flex de etanol é técnica e economicamente viável, especialmente em regiões produtoras do Sul do Brasil, onde há disponibilidade de trigo fora do padrão alimentício e infraestrutura agrícola consolidada. Essa integração poderá reduzir a ociosidade das plantas industriais durante a entressafra da cana-de-açúcar, promovendo estabilidade operacional e melhor aproveitamento energético anual.

Referências

BE8. Be8 inicia obras da planta de etanol em Passo Fundo (RS), com previsão de operação para 2026. Be8 Energy, 16 jan. 2024. Disponível em: <https://www.be8energy.com/pt/noticia/be8-inicia-obras-da-planta-de-etanol-em-passo-fundo--rs--com-previsao-de-operacao-para-2026>.

BUCKERIDGE, Marcos et al. **Ethanol from sugarcane in Brazil: a ‘midway’ strategy for increasing ethanol production while maximizing environmental benefits.** Global Change Biology: Bioenergy, v. 4, n. 2, p. 119-126, 2012. Tradução. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2011.01122.x>. Acesso em: 30 out. 2025.

CECCHI, H. M. Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos. 2. ed. Campinas: Unicamp, 2003.

COSTA, M. G. da et al. Qualidade tecnológica de grãos e farinhas de trigo nacionais e importados. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 28, n. 1, p. 200–208, 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/dbD7WPS7XKxCf5r8XjdhY5B>.

EMBRAPA TRIGO. Programa Trigo Baixo Carbono: um novo conceito de produção sustentável. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2023.

ERDEI, B. et al. *Ethanol production from mixtures of wheat straw and wheat meal.* **Biotechnology for Biofuels**, v. 3, n. 16, p. 1-11, 2010. DOI: 10.1186/1754-6834-3-16.



ENERGIA SOLAR E SUSTENTABILIDADE: OS DESAFIOS DA RECICLAGEM DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS NO BRASIL

Louise Molnar Fedyna¹, Lucas Lima Provensi¹, Camila de Brito Miranda Faia¹

¹Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Palavras-chave

Reciclagem; painéis fotovoltaicos; sustentabilidade; logística reversa.

Resumo

O crescimento acelerado da população mundial e o aumento da demanda energética impulsionam a busca por fontes renováveis, destacando a energia solar fotovoltaica como uma das principais alternativas sustentáveis. O Sol, fonte natural limpa e inesgotável, apresenta grande potencial energético, especialmente em países como o Brasil, caracterizados por elevados índices de irradiação solar. No entanto, a expansão dessa tecnologia gera um novo desafio ambiental: o descarte e a reciclagem dos painéis fotovoltaicos ao final de sua vida útil, estimada em 25 anos. O descarte inadequado pode causar contaminação do solo e das águas devido à presença de metais pesados, enquanto a reciclagem adequada possibilita a recuperação de materiais valiosos e a mitigação de impactos ambientais. Esta pesquisa tem como objetivo analisar o cenário atual da reciclagem de painéis fotovoltaicos no Brasil, considerando seus aspectos técnicos, econômicos e regulatórios. O estudo foi desenvolvido por meio de revisão bibliográfica em bases científicas, com foco em artigos publicados entre 2020 e 2025. Embora a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) forneça diretrizes gerais, ainda não há regulamentação específica para resíduos fotovoltaicos. Países europeus alcançaram índices de recuperação superiores a 80 % com a implementação da diretiva WEEE (*Waste from Electrical and Electronic Equipment*). Assim, conclui-se que o Brasil precisa fortalecer suas políticas públicas, incentivar a pesquisa e integrar o setor público e privado para consolidar uma logística reversa eficiente e uma matriz energética verdadeiramente sustentável.

Introdução

Em 2022, a população mundial atingiu a marca de 8 bilhões de habitantes, intensificando a busca por fontes de energia renováveis diante do avanço industrial e da crescente demanda global. Nesse contexto, a energia solar fotovoltaica destaca-se como uma alternativa estratégica, viável e ambientalmente sustentável. O Sol é o recurso natural mais abundante e praticamente inesgotável do planeta, com potencial de aproveitamento em quase todas as regiões (Global Solar Atlas, 2025). Apesar desse elevado potencial, a expansão em larga escala ainda enfrenta desafios relacionados a políticas públicas, financiamento, manufatura e integração às redes elétricas. O Brasil apresenta uma localização geográfica privilegiada, recebendo níveis de irradiação solar superiores aos de diversos países europeus e consolidando-se como uma das principais potências na geração de energia solar. De acordo com a



Associação Brasileira de Energia Solar (Absolar, 2025), o país ultrapassou 46 GW de potência instalada operacional, evitando a emissão de 66,6 milhões de toneladas de CO₂ e contribuindo significativamente para a mitigação dos impactos ambientais. Entretanto, a rápida expansão do setor traz um desafio emergente: o descarte dos painéis fotovoltaico, cuja vida útil média é de cerca de 25 anos. O descarte prematuro e a ausência de processos adequados de reciclagem tornam urgente a adoção de sistemas de logística reversa (Cruz *et al.*, 2020). Conforme Ferrotto (2022), a reciclagem representa uma das principais estratégias de gestão e evitar o acúmulo de resíduos e possibilitar o retorno dos materiais ao ciclo produtivo. Em países que já atingiram o fim da vida útil dos módulos, como a Austrália, grande parte dos resíduos ainda é destinada a aterros sanitários devido à falta de políticas de incentivo à recuperação (Alves *et al.*, 2025).

Diante desse cenário, o presente estudo analisa o panorama atual e os desafios técnicos, econômicos e regulatórios da reciclagem de painéis fotovoltaicos no Brasil, ressaltando a importância da gestão sustentável dos resíduos e da formulação de políticas públicas específicas para o setor.

Material e métodos

A pesquisa caracteriza-se como uma revisão bibliográfica exploratória e qualitativa, realizada em três bibliotecas digitais: Portal Periódico CAPES, SciELO e Google Acadêmico, utilizando as palavras-chave "reciclagem de painéis fotovoltaicos", "logística reversa fotovoltaico" e "resíduos solares", combinadas por meio do operador booleano “E”. O recorte temporal adotado compreendeu o período de 2020 a 2025, foram excluídos artigos duplicados e sem acesso completo.

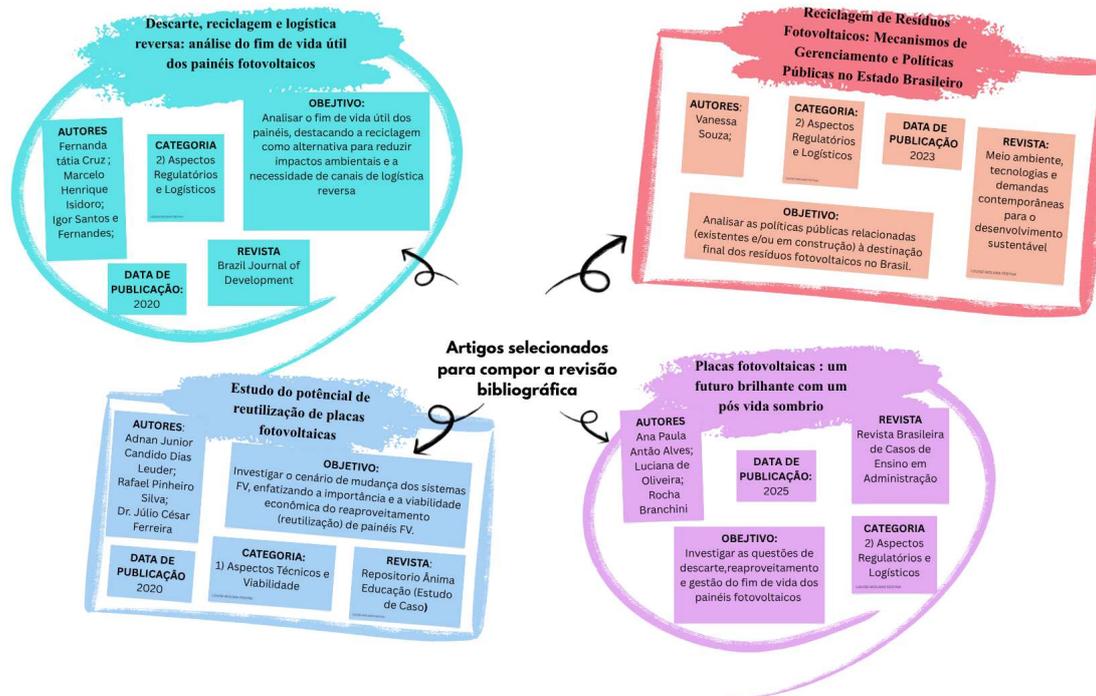
Os artigos selecionados foram classificados em: 1) Aspectos técnicos e viabilidade, abordando processos de reciclagem e recuperação de materiais; 2) Aspectos regulatórios e logísticos, analisando a aplicação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e propostas de políticas públicas. Após a triagem inicial de 322 artigos, quatro pesquisas foram escolhidas para análise detalhada, permitindo identificar convergências e divergências quanto aos aspectos técnicos, regulatórios e logísticos da reciclagem de painéis fotovoltaicos.

Resultados e Discussão

A análise dos artigos, conforme ilustrado na Figura 1, evidencia que a pesquisa sobre reciclagem de painéis fotovoltaicos no Brasil concentra-se predominantemente nos aspectos regulatórios e logísticos. Entre os quatro estudos revisados, três destacam a necessidade urgente de implementação de sistemas de logística reversa eficientes.



Figura 1 - Artigos selecionados para compor a revisão bibliográfica.



Fonte: autoria própria, 2025.

O cenário da energia solar está em expansão, destacando desafios no descarte e reciclagem dos módulos. Muitos painéis ainda apresentam eficiência para aplicações de menor demanda, podendo ser reintroduzidos no mercado a custos menores, enquanto a reciclagem é economicamente viável e reduz impactos ambientais (Dias, Silva e Ferreira, 2020). Alves e Branchini (2024) apontam que cerca de 7 % dos módulos são descartados antes dos 15 anos de vida útil. Em 2020, o Brasil deixou de reciclar 3.000 toneladas de resíduos fotovoltaicos, e investidores já exigem programas de destinação ambientalmente correta, evidenciando a pressão do mercado por práticas sustentáveis. A reciclagem correta é essencial devido à presença de metais pesados e materiais nobres nos painéis, cujo descarte inadequado pode contaminar solo e águas (Cruz *et al.*, 2020). Apesar da PNRS, faltam diretrizes específicas para resíduos fotovoltaicos, levando à proposição do Projeto de Lei nº 998/2024, que visa logística reversa e descarte adequado. Comparativamente, a União Europeia possui políticas consolidadas, como a WEEE (*Waste from Electrical and Electronic Equipment*) e regulamentações alemãs, que exigem responsabilidade de fabricantes e importadores no descarte correto (Souza *et al.*, 2023).

Considerações finais

As evidências analisadas indicam que a sustentabilidade da energia solar não se limita à geração limpa, estando diretamente relacionada à gestão adequada dos resíduos, à criação de políticas específicas e à implementação de fiscalização. Torna-se fundamental que o governo incentive a pesquisa e o



desenvolvimento de tecnologias voltadas à reciclagem, consolidando essa prática para o avanço em direção a uma matriz energética verdadeiramente sustentável.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES pelo incentivo a pesquisa e a ciência.

Referências

ABSOLAR. **Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Brasil: energia solar representa 19,5% da matriz elétrica brasileira.** Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica, 2025. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/noticias-externas/energia-solar-representa-195-da-matriz-eletrica-brasileira/>. Acesso em: 12 out. 2025.

ALVES, A. P. A.; OLIVEIRA, L.; BRANCHINI, R. **Placas fotovoltaicas: um futuro brilhante com um pós-vida sombrio.** *Revista Brasileira de Casos de Ensino em Administração*, v. 15, n. 1, p. cr1-cr1, 2025.

CRUZ, F. T.; ISIDORO, M. H.; FERNANDES, I. S. E. **Descarte, reciclagem e logística reversa: análise do fim de vida útil dos painéis fotovoltaicos.** *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 9, p. 73294-73309, 2020.

DIAS, A. J. C.; SILVA, L. R. P.; FERREIRA, J. C. **Estudo do potencial de reutilização de placas fotovoltaicas.** Repositório Ânima Educação, 2020. Disponível em: <https://repositorio.animaeducacao.com.br/>. Acesso em: 20 out. 2025.

G1. **Somos 8 bilhões de pessoas e não vamos parar por aí.** G1. Disponível em: <https://especiais.g1.globo.com/mundo/2022/8-bilhoes-de-pessoas/>. Acesso em: 12 out. 2025.

GLOBAL SOLAR ATLAS. **Global Solar Atlas.** Disponível em: <https://globalsolaratlas.info/map?c=29.53523,-25.664063,2&s=79.687184,-48.867188&m=site>. Acesso em: 12 out. 2025.

FERROTTO, Marco Filippo et al. Strategies for waste recycling: The mechanical performance of concrete based on limestone and plastic waste. *Sustainability*, v. 14, n. 3, p. 1706, 2022. KIM, J. H.; LEE, J. H.; PARK, J. W. **Life Cycle Assessment and Economic Analysis of Photovoltaic Panel Recycling Processes.** *Sustainability*, v. 14, n. 9, p. 5336, 2022.

SOUZA, V. Meio ambiente, tecnologias e demandas contemporâneas para o desenvolvimento sustentável - **Reciclagem de resíduos fotovoltaicos: mecanismos de gerenciamento e políticas públicas no estado brasileiro.** Publicar. 1 volume. Rio de Janeiro, 2023.



DESENVOLVIMENTO INICIAL DE UM BANCO DE BATERIAS COM CÉLULAS RECICLADAS PARA VEÍCULOS ELÉTRICOS

Luiz Gabriel Lopes da Silva¹, Matheus Henrique Rossi¹, Leandro Diogo Soba¹, Eduardo Carderalli Alves¹, Glaucio Pedro de Alcantara¹

¹Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Palavras-chave

Baterias; Carro Elétrico; Reciclagem.

Resumo

O presente trabalho apresenta o desenvolvimento inicial de um banco de baterias veiculares utilizando células 18650 reaproveitadas de baterias de notebooks descartadas. As células foram submetidas a testes de carga, descarga e medição de capacidade, com o objetivo de selecionar aquelas em condições adequadas de uso para a montagem de um protótipo de banco de baterias destinado a um veículo elétrico do projeto de pesquisa denominado VASFE (acrônimo de Veículo Autônomo Sustentável Foto Elétrico). O estudo busca demonstrar a viabilidade técnica, econômica e ambiental do reaproveitamento de baterias de íon-lítio, contribuindo para a redução do lixo eletrônico, o aproveitamento de recursos já disponíveis e o avanço da mobilidade elétrica sustentável.

Introdução

No Brasil, o investimento em baterias vem crescendo significativamente. Em 2024, a demanda aumentou cerca de 89% (MEGAWHAT, 2025), e estima-se que até 2030 os investimentos ultrapassem 20 bilhões de reais (ESTADÃO, 2025). Esse avanço é impulsionado pela popularização dos veículos elétricos e pela redução de aproximadamente 90% no custo médio das baterias entre 2010 e 2030 (PORTALSOLAR, 2024). Segundo o Jornal da USP (2025), apesar da redução de custos, as baterias de íon-lítio ainda apresentam alto valor devido ao custo de fabricação e à necessidade de infraestrutura especializada, limitando sua adoção em larga escala. Além dos desafios econômicos, há impactos ambientais relacionados à extração e ao descarte. Conforme a GREEN ELETRON (2023), são necessários cerca de 100 kg de minério para obter 1,6 kg de lítio, evidenciando o elevado consumo de recursos naturais. O portal UOL Ecoa (2023) destaca ainda a baixa taxa de reciclagem e os riscos no manuseio, resultando em descarte inadequado e contaminação ambiental. Diante desse cenário, torna-se essencial promover o reaproveitamento de materiais. Assim, este trabalho tem como objetivo desenvolver um protótipo de banco de baterias para veículos elétricos com baterias recicladas, contribuindo para a redução de resíduos e a sustentabilidade no armazenamento de energia.

Material e métodos



Na Universidade Estadual de Maringá (UEM), o projeto Veículo Autônomo Sustentável Fotoelétrico (VASFE) tem como objetivo desenvolver um protótipo de carro autônomo alimentado por energia solar. Para isso, foram recebidas entre doações e aquisições de baterias de notebooks (fora de uso), um total de mais de 2.000 células.

O primeiro passo na montagem do banco de baterias foi a avaliação da qualidade e capacidade de cada célula. As baterias de notebooks foram desmontadas para a extração das células 18650, comumente usadas em dispositivos portáteis e sistemas de armazenamento de energia. As células foram testadas com o carregador inteligente Liitokala (LIITOKALA, 2025), capaz de carregar, descarregar, medir capacidade, resistência interna e realizar ciclos de regeneração. O equipamento monitora tensão e corrente em tempo real, ajustando automaticamente os parâmetros de carga e descarga, permitindo selecionar as células com melhor desempenho e descartar as degradadas ou com risco de superaquecimento.

Com base nos resultados dos testes, as células funcionais foram separadas e agrupadas de acordo com a configuração elétrica necessária para o projeto. O arranjo das baterias foi realizado considerando os princípios de associação em série e em paralelo.

- Na ligação em série, as tensões de cada célula são somadas, mantendo a mesma capacidade. Assim, aumenta-se a tensão total do banco.
- Já na ligação em paralelo, a tensão permanece constante, porém as capacidades individuais se somam, o que aumenta a corrente disponível e a autonomia do sistema.

Dessa forma, para fins de teste e validação do conceito, está sendo desenvolvido um banco de baterias com tensão nominal de 72 V e capacidade de 60 Ah, a partir do reaproveitamento de células 18650 em boas condições de uso. Esse protótipo permitirá avaliar o desempenho elétrico, a eficiência do reaproveitamento e a viabilidade técnica para aplicação em veículos elétricos de pequeno porte.

Resultados e Discussão

Atualmente, o projeto encontra-se na fase inicial de testes e organização das células. Foi desenvolvido um protótipo de montagem dos packs de baterias, como ilustrado na Figura 1, o qual servirá de base para o arranjo final do banco de baterias do veículo elétrico.

Figura 1 - Protótipo inicial de montagem dos packs de baterias.



Fonte: autoria própria, 2025.

Atualmente, está em andamento a etapa de testes das células 18650 reaproveitadas de baterias de notebooks descartadas. Cerca de 2.000 medições estão sendo realizadas com o equipamento Liitokala, submetendo cada célula a ciclos de carga e descarga para determinar capacidade, resistência interna e comportamento elétrico. Essa triagem possibilita classificar as células entre aptas para uso e descarte, assegurando segurança e confiabilidade.

Concluída essa fase, será dimensionado e montado um banco de baterias de 72 V e 60 Ah para testes iniciais de desempenho. Em seguida, novos bancos serão configurados em série e paralelo, conforme a demanda do motor elétrico do projeto VASFE, permitindo avaliar a viabilidade técnica e ambiental do reaproveitamento das baterias em aplicações automotivas de pequeno porte.

Considerações finais

Após inúmeros testes realizados com as baterias recebidas, conclui-se que, mesmo após o descarte de notebooks, muitas células ainda apresentam boas condições de uso e vida útil funcional. Dessa forma, o estudo evidencia a viabilidade de reaproveitar essas baterias na montagem de bancos para veículos elétricos, contribuindo para o avanço de soluções sustentáveis em mobilidade e para a redução dos impactos ambientais causados pelo descarte inadequado do lítio.

Agradecimentos

Agradecemos ao projeto de pesquisa denominado VASFE, vinculado ao curso de Engenharia Elétrica, pela oportunidade de desenvolver este trabalho no campo das baterias veiculares. Este projeto busca fomentar o avanço de tecnologias voltadas à mobilidade elétrica e sustentável. Manifestamos, ainda, nossa gratidão aos professores, colegas e colaboradores que contribuíram com orientações, conhecimentos e apoio técnico durante a execução desta pesquisa, tornando possível a concretização deste trabalho.

Referências

ROCHA, Ludmylla. Consumidores devem investir R\$ 22,5 bi em armazenamento de energia até 2030, diz pesquisa. Estadão, São Paulo, 20 fev. 2025. Atualizado em: 21 fev. 2025. Disponível em: <https://www.estadao.com.br/economia/coluna-do-broad/consumidores-devem-investir-r-225-bi-em-armazenamento-de-energia-ate-2030-diz-pesquisa/>. Acesso em: 22 out. 2025.



GREEN ELETRON. Reciclagem de baterias de lítio acontece no Brasil. Saiba mais! Green Eletron, São Paulo, 22 fev. 2023. Disponível em: <https://greeneletron.org.br/blog/reciclagem-de-baterias-de-litio-acontece-no-brasil-saiba-mais/>. Acesso em: 22 out. 2025.

BERMANN, Célio. Baterias de nova geração esbarram em custos elevados e falta de infraestrutura no País. Jornal da USP, São Paulo, 23 jul. 2025. Disponível em: <https://jornal.usp.br/radio-usp/baterias-de-nova-geracao-esbarram-em-custos-elevados-e-falta-de-infraestrutura-no-pais/>. Acesso em: 22 out. 2025.

LIITOKALA. Liitokala: carregadores inteligentes. Liitokala. Disponível em: <https://www.liitokala.com.cn/>. Acesso em: 22 out. 2025.

SOUTO, Poliana. Demanda por baterias no Brasil quase dobra em 2024 e deve movimentar R\$ 23 bi até 2030. MegaWhat, São Paulo, 18 set. 2025. Disponível em: <https://megawhat.uol.com.br/economia-e-politica/empresas/demanda-por-baterias-no-brasil-quase-dobra-em-2024-e-deve-movimentar-r-23-bi-ate-2030/>. Acesso em: 22 out. 2025.

CASARIN, Ricardo. Baterias de lítio têm redução de 90% nos custos entre 2010 e 2023. Portal Solar, São Paulo, 30 abr. 2024. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/noticias/tecnologia/armazenamento/baterias-de-litio-tem-reducao-de-90-nos-custos-entre-2010-e-2023>. Acesso em: 22 out. 2025.

ZAPAROLLI, Domingos. Bateria de lítio vira problema ambiental no descarte e desafia reciclagem. UOL, São Paulo, 3 dez. 2023. Disponível em: <https://www.uol.com.br/eco/ultimas-noticias/2023/12/03/o-desafio-de-reciclar-baterias-de-litio.htm>. Acesso em: 22 out. 2025.



ENSINO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA E DESENVOLVIMENTO DAS ALTAS HABILIDADES/SUPERDOTAÇÃO: UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-CRÍTICA NA ESCOLA PÚBLICA ESTADUAL

Márcia Staudt¹, Me. Josenei Godoi de Medeiros², Mateus Eduardo Staudt³, Marcia Borin da Cunha²;

Camila de Brito Miranda Faia¹

¹Universidade Estadual de Maringá UEM Maringá – PR

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná UNIOESTE, Toledo - PR

³Universidade Tecnológicas Federal do Paraná UTFPR, Medianeira – PR

Palavras-chave

Energia Fotovoltaica; Ensino de Ciências; Pedagogia Histórico-Crítica; Altas Habilidades/Superdotação; Escola Pública.

Resumo

A pesquisa propõe responder à questão: de que modo o ensino da energia fotovoltaica, mediado pela Pedagogia Histórico-Crítica e articulado ao modelo dos Três Anéis de Renzulli, pode potencializar o desenvolvimento cognitivo, criativo e social de estudantes com Altas Habilidades/Superdotação no Ensino Fundamental II e Médio de uma escola pública do Oeste do Paraná? Parte-se de compreender, mais que descrever, a força formativa que o ensino da energia fotovoltaica pode exercer sobre o desenvolvimento das Altas Habilidades/Superdotação (AH/SD) em estudantes do Ensino Fundamental II e Médio de uma escola pública do Oeste do Paraná. A base teórica se assenta na Pedagogia Histórico-Crítica (PHC) e no modelo dos Três Anéis de Renzulli. O desenho metodológico, de natureza aplicada e abordagem qualitativa descritivo-interpretativa, busca entrelaçar a abstração conceitual e o fazer concreto por meio de aulas teórico-experimentais, medições, e na elaboração coletiva de um sistema fotovoltaico de até 10 kW. As avaliações diagnósticas, formativa e final, servirão para observar transformações cognitivas, criativas e sociais. Parte-se da ideia, não apenas como hipótese, de que a aprendizagem científica, quando mediada pela dialética materialista, converte o potencial em consciência e o saber em ato social. A investigação quer, reabrir a discussão sobre inclusão e ensino de ciências, recolocando a escola pública como espaço de pensamento tecnológico e de formação emancipadora. Espera-se, com isso, demonstrar que o ensino da energia fotovoltaica pode atuar como mediação formativa capaz de transformar potencialidades em consciência socialmente situada.

Introdução

A escola pública habita uma tensão permanente: a aceleração das máquinas contrasta com a lentidão do amadurecimento humano, esse tempo interior da consciência que resiste ao compasso do mercado. Nesse intervalo, a educação científica não pode reduzir-se a treinamento técnico, mas precisa restituir ao estudante o poder de compreender e intervir no mundo. É nesse contexto que o trabalho com



alunos de Altas Habilidades/Superdotação (AH/SD) se impõe: adolescentes de pensamento veloz, perguntas desafiadoras e sensibilidade analítica, frequentemente negligenciados não pela ausência, mas pelo excesso de potencial diante de currículos repetitivos. Embora reconhecidos pela Lei de Diretrizes e Base da Educação Nacional (LDB) nº 9.394/1996 (Brasil, 1996) e pelo Decreto nº 6.571/2008 (Brasil, 2008), menos de 1 % recebe acompanhamento efetivo (Martins; Pedro; Ogeda, 2016), lacuna que é política e ética, conforme destaca Fleith (2007), ao apontar que a efetividade das ações voltadas às altas habilidades depende da formação docente contínua e da institucionalização de políticas de enriquecimento curricular. A energia fotovoltaica, por sua natureza interdisciplinar, oferece terreno propício a essa mediação: nela convergem física, matemática, tecnologia e consciência ambiental; cada célula solar reencena o gesto humano de converter luz em cultura. A Pedagogia Histórico-Crítica de Saviani e Gasparin, articulada ao modelo dos Três Anéis de Renzulli, que integra habilidade, criatividade e envolvimento, constitui o método capaz de conduzir essa travessia: ensinar energia solar torna-se, assim, um exercício de formação da consciência, não mera instrução técnica. Espera-se que a intervenção evidencie como a mediação PHC, articulada aos Três Anéis, converte potenciais individuais em competências técnico-científicas e em práticas coletivas de autoria epistemológica na escola. Igualmente, procura-se evidenciar mudanças mensuráveis nos indicadores cognitivos, criativos e sociais, registradas pelas avaliações diagnóstica, formativa e final, e consolidar um modelo replicável de inclusão tecnológica emancipadora.

Material e métodos

A investigação, de natureza aplicada e abordagem qualitativa, será realizada em uma escola pública do Oeste do Paraná, com um grupo de seis a dez estudantes identificados com Altas Habilidades/Superdotação segundo os critérios de Renzulli (1978) e as concepções formativas descritas por Paludo (2014), sujeitos de inteligência acentuada, criatividade constante e elevado envolvimento com a aprendizagem. Em doze encontros de duas horas, em contraturno, o percurso formativo seguirá a estrutura dialética da Pedagogia Histórico-Crítica: o percurso formativo terá início com a prática social inicial, seguindo pela leitura social da energia e de suas desigualdades, passará à problematização do modelo fóssil e à instrumentalização, etapa em que conceitos de irradiância, corrente e eficiência serão explorados experimentalmente, culminando na catarse, com o projeto coletivo de um sistema fotovoltaico de até 10 kW, e na prática social final, em que o conhecimento se reintegra ao coletivo por meio de sínteses e apresentações. A coleta de dados incluirá observação participante, entrevistas, registros audiovisuais e análise de produções discentes, tratadas conforme Bardin (2011) e validadas por triangulação. A leitura hermenêutico-dialética buscará apreender as transformações cognitivas e afetivas geradas pela mediação histórico-crítica, revelando como o ato educativo converte a técnica em consciência.

Resultados e Discussão

Espera-se que o ensino da energia fotovoltaica amplie o entendimento dos estudantes tanto sobre os fundamentos técnicos quanto sobre o sentido social da energia solar. Que desperte neles uma consciência ambiental lúcida, investigativa, capaz de interrogar o mundo e não apenas operá-lo. A



metodologia histórico-crítica deve favorecer atitudes de pesquisa, autonomia e criatividade, marcas do perfil renzulliano, e, ao mesmo tempo, fortalecer laços cooperativos, socialmente conscientes.

A avaliação, dividida em três momentos, diagnóstico, processo e síntese, deve evidenciar não apenas a evolução cognitiva, mas a passagem da curiosidade espontânea à consciência crítica. No plano institucional, a proposta quer sedimentar práticas inclusivas, devolvendo visibilidade e voz aos estudantes com AH/SD. No plano formativo, pretende demonstrar que o ensino de energia fotovoltaica, quando ancorado na PHC, ultrapassa o tecnicismo e devolve à ciência sua dimensão humanizadora. Este trabalho com solar, então, deixa de ser mero espaço experimental. Torna-se metáfora de um processo maior: nele, o aluno não mede apenas a luz, mede o próprio gesto humano de transformação.

Considerações finais

Este trabalho reafirma a escola pública como território de criação e pensamento crítico, onde o saber técnico se converte em instrumento de emancipação. Integrar o modelo de Renzulli à Pedagogia Histórico-Crítica significa reconhecer o talento como expressão histórica e cultural da plasticidade humana. O ensino da energia fotovoltaica, sob essa perspectiva, articula rigor científico, sensibilidade e responsabilidade social, propondo um modelo pedagógico capaz de inspirar políticas públicas voltadas às AH/SD.

Agradecimentos

Agradeço, de forma especial, à Universidade Estadual de Maringá (UEM), à Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), Campus de Toledo e Cascavel, e à Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pelo apoio técnico e institucional que viabilizou a realização deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, manifesto meu reconhecimento pela possibilidade de dialogar com diferentes áreas do saber em torno de um tema urgente e transformador.

Referências

- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2011.
- BRASIL, de 20 de dezembro de 1996. **Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional**. Brasil SIL. Lei n.º 9.394/96: MEC, 1996.
- BRASIL. Decreto nº 6.571, de 17 de setembro de 2008. **Dispõe sobre o atendimento educacional especializado, regulamenta o parágrafo único do art. 60 da Lei nº 9.394, de 20 de dezembro de 1996, e acrescenta dispositivo ao Decreto nº 6.253, de 13 de novembro de 2007**. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 181, p. 26, 18 set. 2008.
- FLEITH, D. S. **A construção de práticas educacionais para alunos com altas habilidades/superdotação**. Brasília: MEC/SEESP, 2007.
- GASPARIN, J. L. **Uma didática para a pedagogia histórico-crítica**. 3. ed. Campinas: Autores Associados, 2012.
- MARTINS, B. A.; PEDRO, K. M.; OGEDA, C. M. M. **Altas habilidades/superdotação: o que dizem as pesquisas sobre estas crianças invisíveis**. Psicologia Escolar e Educacional, v. 20, n. 3, p. 561-568, 2016.



- PALUDO, K. **Características e histórico das Altas Habilidades/Superdotação**. Curitiba: Itene, 2014.
- RENZULLI, J. S. **The three-ring conception of giftedness: a developmental model for creative productivity**. In: STERNBERG, R. J. (Ed.). *Conceptions of giftedness*. Cambridge: Cambridge University Press, 1978.
- SAVIANI, D. **Escola e democracia**. Campinas: Autores Associados, 2008.



ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA COMPARATIVA ENTRE PLANTAS INDUSTRIAIS PARA PRODUÇÃO DE ETANOL DE MILHO NO NOROESTE DO PARANÁ

Érica Aparecida Romero Ortega¹

Daniel Tait Vareschini¹

¹Universidade Estadual de Maringá - Programa de Pós-graduação em Bioenergia

Palavras-chave

Valor agregado, Bioenergia, DDGS, Sazonalidade

Resumo

O etanol de milho é considerado como uma solução para mitigar a sazonalidade da produção de etanol a partir da cana, que acaba por requerer altos estoques. Combinando a análise quantitativa de receita versus custos com aspectos de segurança energética e ambientais, acredita-se que projetos de etanol de milho podem ser uma importante frente de desenvolvimento que deve ser incentivada. Esse estudo tem por objetivo identificar o modelo mais viável de planta industrial para fabricação de etanol de milho considerando os aspectos técnicos e econômicos para a região noroeste do Paraná, proporcionando uma estrutura de análise econômica para a correta tomada de decisão dos futuros investidores entre os modelos de produção de etanol de milho.

Introdução

A crescente demanda por combustíveis no País e no mundo, aliada a fatores relacionados à instabilidade da oferta de combustíveis fósseis e à necessidade de resposta às mudanças climáticas mundiais, elevou a busca por alternativas energéticas, em especial os biocombustíveis (Solomon et al., 2007). Um passo recente e importante, pelo lado da oferta, foi a inclusão do etanol à base de milho na matriz de biocombustíveis nacionais, com diversidade de modelos de produção e de negócios.

O etanol de milho vem ganhando espaço na matriz energética nacional e, dados os investimentos em andamento para produção, haverá expansão da oferta nos próximos anos. No entanto, destaca-se que sua produção é mais facilmente viabilizada em regiões que congregam três características: i) abundância e oferta de milho a preços competitivos; ii) comercialização do etanol a preços competitivos comparativamente ao da gasolina; e iii) demanda por DDG/DDGS/ WDG/WDGS (proteína para nutrição animal) (SILVA et al, 2020).

A necessidade de cumprir os compromissos internacionais firmados pelos signatários do Acordo de Paris criou um mercado de carbono regulado. Esse mercado pode medir nossa pegada de carbono, atender às metas de investimento obrigatório dos setores público e privado para redução de gases de efeito estufa (GEE) e combater o aquecimento global (UNEM, 2022).



Segundo o coordenador técnico do Instituto para o Fortalecimento da Agropecuária de Goiás (Ifag), Alexandre Alves, o etanol de milho tem sido visto como um produto com grande agregação de valor. “Além de fomentar a produção do cereal, especialmente em Goiás e no Mato Grosso, e produzir biocombustível [etanol], ele gera coprodutos como o óleo, o DDG [grãos secos de destilaria] e o DDGS [grãos secos de destilaria com solúveis], estes últimos usados na ração animal (FAEG, 2023).

Existem três modelos de usinas de etanol de milho:

- a Usina Full (ou dedicadas) – que processa exclusivamente milho para produção de etanol;
- a Usina Flex, que são aquelas de cana-de-açúcar adequadas para produzir etanol de milho no período da entressafra da cana;
- e a Usina Flex Full, que são usinas de cana e milho que operam paralelamente.

Usina Full Milho



Produz etanol apenas com o milho como matéria-prima.

Usina Flex



Quando a cana não está disponível (entressafra), produz etanol de milho.

Usina Flex Full



Produz etanol de cana-de-açúcar e de milho em paralelo, durante a safra da cana.

Fonte: Neves (2021)

A Lei Nº 14.993, de 8 de outubro de 2024 que define mandatos para aumentar o percentual obrigatório de etanol e biodiesel na gasolina e no diesel, respectivamente. A Lei do Combustível do Futuro incentiva o uso de biocombustíveis e regula a captura de carbono no Brasil. Entre os destaques estão o aumento do biodiesel e etanol, além de programas para produção de bioquerosene e diesel verde. O texto estabelece que a margem de mistura de etanol à gasolina passará a ser de 22% a 27%, podendo chegar a 35%. Porém, especialistas alertam que o país ainda carece de um plano robusto para reduzir a dependência de combustíveis fósseis, com o esgotamento do pré-sal previsto até 2035.

Esse estudo tem por objetivo geral identificar o modelo mais viável de planta industrial para fabricação de etanol de milho considerando os aspectos técnicos e econômicos para a região noroeste do Paraná.



Material e métodos

Para que o objetivo principal da pesquisa seja atingido será realizada uma pesquisa quantitativa com método descritivo (LAKATOS, MARCONI, 2010). Essa alternativa foi escolhida devido à necessidade de identificar o modelo mais viável de planta industrial para fabricação de etanol de milho considerando os aspectos técnicos e econômicos.

Quanto aos meios, trata-se de uma pesquisa bibliográfica (LAKATOS, MARCONI, 2010), porque para a fundamentação teórica do trabalho foi realizada investigação sobre os seguintes assuntos: A organização cadeia produtiva do milho no noroeste do Paraná, características de produção e mercado, comportamento do preço do milho e suas variáveis, os modelos de planta industrial para produção do etanol de milho e os coprodutos gerados no processo.

Serão apresentadas as características técnicas dos modelos de planta industrial para produção de etanol de milho no Brasil, com a utilização de levantamento documental junto a UNEM (União Nacional de Etanol de Milho) e pesquisa de campo. Assim como, a descrição e análise das tecnologias disponíveis (full, flex, full flex).

Posteriormente, foi utilizada a metodologia de avaliação econômica de Gitman (2003) confrontando através da taxa interna de retorno (TIR) que é um indicador da rentabilidade do projeto e do payback descontado que fornece o tempo necessário para recuperar o investimento inicial, calculados através de planilha Excel, a fim de verificar a viabilidade da adequação do processo adotado pela destilaria a fim de aproveitar a cinza residual na correção dos solos

Resultados e Discussão

A necessidade de cumprir os compromissos internacionais firmados pelos signatários do Acordo de Paris criou um mercado de carbono regulado. Esse mercado pode medir nossa pegada de carbono, atender às metas de investimento obrigatório dos setores público e privado para redução de gases de efeito estufa (GEE) e combater o aquecimento global (UNEM, 2022).

Segundo o coordenador técnico do Instituto para o Fortalecimento da Agropecuária de Goiás (Ifag), Alexandro Alves, o etanol de milho tem sido visto como um produto com grande agregação de valor. “Além de fomentar a produção do cereal, especialmente em Goiás e no Mato Grosso, e produzir biocombustível [etanol], ele gera coprodutos como o óleo, o DDG [grãos secos de destilaria] e o DDGS [grãos secos de destilaria com solúveis], estes últimos usados na ração animal (FAEG, 2023).

A Lei Nº 14.993, de 8 de outubro de 2024 que define mandatos para aumentar o percentual obrigatório de etanol e biodiesel na gasolina e no diesel, respectivamente. A Lei do Combustível do Futuro incentiva o uso de biocombustíveis e regula a captura de carbono no Brasil. Entre os destaques estão o aumento do biodiesel e etanol, além de programas para produção de bioquerosene e diesel verde. O texto estabelece que a margem de mistura de etanol à gasolina passará a ser de 22% a 27%, podendo chegar a 35%.



Considerações finais

O etanol de milho é a solução para mitigar a sazonalidade da produção de etanol a partir da cana, que acaba por requerer altos estoques. Combinando a análise quantitativa de receita versus custos com aspectos de segurança energética e ambientais, conclui-se que projetos de etanol de milho podem ser uma importante frente de desenvolvimento que deve ser incentivada.

Para a região Noroeste do Paraná, a escolha do modelo de planta industrial para a produção de etanol de milho deve considerar diversos fatores técnicos e econômicos. O modelo mais viável para a região é a Usina Flex Full, que são usinas de cana e milho que operam paralelamente, que se distingue por sua eficiência e flexibilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL – DERAL. **Boletim Semanal 15/2024**. Disponível em: https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2024-04/boletim_semanal_15_deral_11_abr_24.pdf

FAEG. **Milho invade as indústrias de produção de etanol**. Disponível em: <https://sistemafaeg.com.br/noticias/milho-invade-as-industrias-de-producao-de-etanol>

GITMAN, L. **Administração Financeira**. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de metodologia científica**. 7ª edição. São Paulo: Atlas, 2010.

NEVES, Marcos Fava (org.). **Etanol de Milho: cenário atual e perspectiva para a cadeia do Brasil**. São Paulo: UNEM, 2021.

SILVA, Haroldo José Torres da; SANTOS, Peterson Felipe Arias; JUNIOR, Enilson Carlos Nogueira; VIAN, Carlos Eduardo de Freitas. Aspectos técnicos e econômicos da produção de etanol de milho no Brasil. **Revista de Política Agrícola**. Ano XXIX – No 4 – Out./Nov./Dez. 2020.

SOLOMON, B.D.; BARNES, J.R.; HALVORSEN, K.E. Grain and cellulosic ethanol: history, economics, and energy policy. **Biomass and Bioenergy**, v.31, p.416-425, 2007.

UNEM. União Nacional do Milho. **Etanol: Solução para todos**. 2022. Disponível em: <https://etanoldemilho.com.br/2022/06/06/etanol-solucao-para-todos/>. Acesso em: 10 out. 2024.



AVANÇOS TECNOLÓGICOS NA FABRICAÇÃO DE CÉLULAS SOLARES DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL: UMA ABORDAGEM VIA ELETROPULVERIZAÇÃO

Samantha de Paula Batista¹ Everson Prado Banczek¹ Maico Taras da Cunha¹
Guilherme Arielo Rodrigues Maia¹

¹ Universidade Estadual do Centro-Oeste.

Palavras-chave

Eletropulverização, células solares, sustentabilidade, TiO₂, inovação tecnológica

Resumo

A transição energética global demanda o desenvolvimento de tecnologias fotovoltaicas sustentáveis, acessíveis e com baixo impacto ambiental. As células solares sensibilizadas por corante (DSSC – *Dye-Sensitized Solar Cells*) destacam-se como alternativas promissoras por unirem flexibilidade, baixo custo e potencial de integração a processos ecológicos. Neste contexto, o presente trabalho propõe a utilização da técnica de eletropulverização para a fabricação de filmes de dióxido de titânio (TiO₂), explorando sua aplicação em dispositivos fotovoltaicos de terceira geração. Essa abordagem oferece vantagens tecnológicas significativas, como controle morfológico, homogeneidade e possibilidade de uso de solventes sustentáveis, além de compatibilidade com corantes naturais. O estudo enfatiza o caráter inovador da metodologia, que alia eficiência energética, escalabilidade e responsabilidade ambiental, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Assim, a eletropulverização surge como uma estratégia promissora para a produção de dispositivos solares mais verdes e tecnicamente competitivos.

Introdução

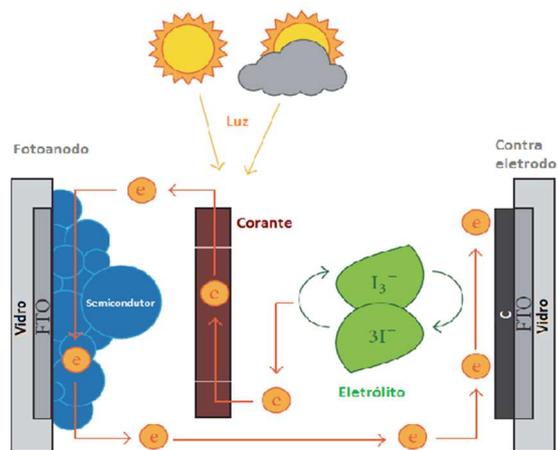
A crescente preocupação com as mudanças climáticas e a necessidade de diversificação das fontes de energia impulsionam o desenvolvimento de tecnologias fotovoltaicas sustentáveis. Entre as alternativas emergentes, as células solares sensibilizadas por corante (DSSC – *Dye-Sensitized Solar Cells*) destacam-se por sua simplicidade construtiva e pela possibilidade de utilização de materiais ambientalmente amigáveis (KOKKONEN et al., 2021).

O dióxido de titânio (TiO₂) é amplamente empregado como semicondutor fotoativo nesses dispositivos, devido à sua estabilidade, abundância e propriedades fotocatalíticas, sendo fundamental para a conversão eficiente da energia solar (MERCANTE et al., 2021). No entanto, o desempenho das DSSCs depende diretamente da morfologia e do método de deposição do filme semicondutor, que influenciam o transporte eletrônico e a adsorção de corantes.

A técnica de eletropulverização tem se destacado como uma rota promissora para a produção de filmes homogêneos e porosos, possibilitando maior controle estrutural e compatibilidade com solventes ecológicos. Paralelamente, o uso de corantes naturais extraídos de fontes vegetais surge como uma

alternativa sustentável aos corantes sintéticos, reduzindo o impacto ambiental e contribuindo para a viabilidade ecológica das células solares (SANTOS et al., 2023).

Figura 1 – Representação esquemática do funcionamento de uma célula solar sensibilizada por corante (DSSC).



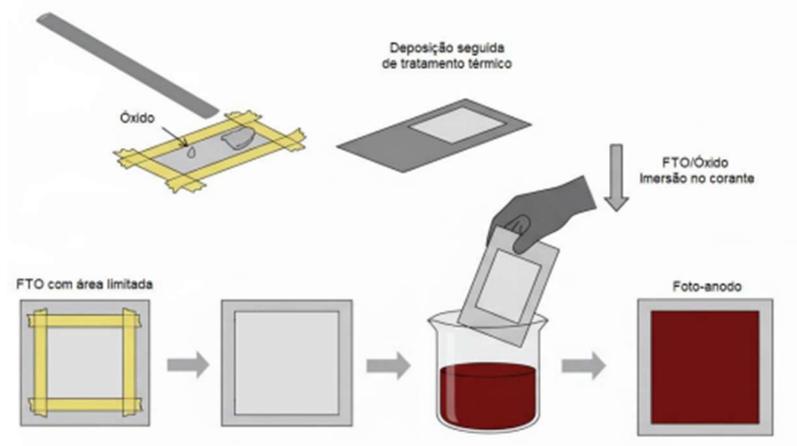
Fonte: Goetzke, (2019).

Material e métodos

O estudo foi conduzido a partir da fabricação de filmes de TiO_2 utilizando a técnica de eletropulverização, seguida pela sensibilização com corantes naturais obtidos de fontes vegetais. As amostras foram depositadas sobre substratos condutores e analisadas quanto às suas propriedades morfológicas, estruturais e fotoativas. A metodologia foi desenvolvida priorizando o uso de solventes ecológicos e o controle do consumo energético durante o processo de deposição.

Devido à proteção por patente, não são descritos os parâmetros experimentais específicos, mantendo-se o foco nos aspectos conceituais e sustentáveis da técnica. A Figura 2 ilustra de forma genérica as etapas envolvidas na obtenção dos filmes semicondutores e na montagem das DSSCs.

Figura 2 – Representação esquemática da deposição de TiO_2 de uma célula solar sensibilizada por corante (DSSC).



Fonte: Autora, (2025).

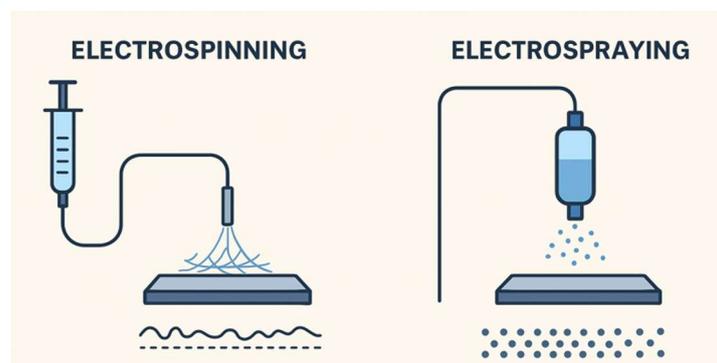
Resultados e Discussão

Os resultados obtidos demonstram que a eletropulverização promove a formação de filmes de TiO_2 com morfologia uniforme, elevada área superficial e boa aderência ao substrato propriedades diretamente relacionadas à eficiência fotovoltaica.

A estrutura obtida favorece a adsorção de corantes e o transporte eficiente de elétrons, reduzindo perdas por recombinação. Além disso, a metodologia apresenta vantagens ambientais, como menor geração de resíduos e ausência de solventes tóxicos.

Essas características colocam a eletropulverização como uma alternativa tecnológica viável à eletrofição tradicional, aliando eficiência técnica e sustentabilidade. Estudos recentes reforçam que o uso de corantes naturais, combinado a processos limpos, tem potencial para impulsionar a produção de células solares verdes e acessíveis.

Figura 3 – Comparação conceitual entre técnicas de deposição, destacando a uniformidade e sustentabilidade da eletropulverização.



Fonte: Autora, (2025).



Considerações finais

O desenvolvimento de filmes de TiO_2 por eletropulverização representa um avanço significativo na fabricação de células solares sensibilizadas por corante, combinando inovação tecnológica e responsabilidade ambiental.

A metodologia alia desempenho técnico a práticas sustentáveis, reduzindo impactos ecológicos e viabilizando processos compatíveis com escalonamento industrial.

Os resultados obtidos consolidam a eletropulverização como uma técnica promissora no contexto das tecnologias fotovoltaicas de terceira geração, em consonância com os princípios da bioenergia e dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

Agradecimentos

Gostaria de agradecer ao CNPq e à Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO) pelo apoio institucional, bem como às agências de fomento e colaboradores envolvidos no desenvolvimento deste trabalho.

Referências

KOKKONEN, M. et al. Recent progress in dye-sensitized solar cells: materials, architecture and efficiency. **Solar Energy Materials & Solar Cells**, v. 230, 2021.

MERCANTE, L. A. et al. Electrospayed TiO_2 nanostructures for photovoltaic applications: morphology, stability and sustainability. **Applied Surface Science**, v. 542, p. 148–159, 2021.

SANTOS, J. A. et al. Natural dyes and eco-friendly fabrication in dye-sensitized solar cells. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, v. 182, p. 113–129, 2023.



GASEIFICAÇÃO COMO ALTERNATIVA PARA VALORAÇÃO ENERGÉTICA DA CAMA DE AVIÁRIO E SUPRIMENTO DAS DEMANDAS DE ELETRICIDADE E CALOR PARA GRANJAS

Guilherme de Almeida Ponce¹, Eduardo Lucas Konrad Burin¹

¹Universidade Federal do Paraná

Palavras-chave

Energia, bioenergia, resíduos.

Resumo

O uso da cama de aviário como fertilizante vem apresentando riscos de contaminação. Com isso em vista, a gaseificação surge como alternativa para a valoração energética do resíduo, visando suprir as demandas de calor e eletricidade das granjas. Sabe-se que as características do resíduo variam com o reuso. Assim, este artigo visa caracterizar 8 amostras de cama em diferentes ciclos de produção (número de lotes) e validar um modelo de gaseificação no CEA com o objetivo de determinar o ponto ótimo de operação. Os dados foram caracterizados e analisados com a intenção de relacionar as variações das características físico-químicas ao número de reusos da cama. Por fim um modelo de simulação para os cálculos de gaseificação foi proposto e validado por meio da comparação com os dados de Lima (2021) e Taupe et al., (2016), mostrando boa concordância com os dados simulados e experimentais, mediante as premissas estabelecidas.

Introdução

A avicultura cresceu expressivamente no Brasil nos últimos anos e tende a aumentar (Corrêa; Miele, 2011). Um dos principais insumos da criação de frangos de corte é a cama de aviário, que é composta por maravalha de pinus e fezes das aves. Levando isto em consideração os dejetos eram utilizados como fertilizante orgânico, porém, com o evoluir das pesquisas e análises, surgiu a preocupação de que caso essa cama for aplicada em solo sem o tratamento apropriado poderia ocasionar uma contaminação do solo e água da região (Tessaro, 2011). Desse modo, outras alternativas ambientalmente aceitas do uso da cama envolvem o aproveitamento energético, os quais podem trazer benefícios financeiros para o próprio empreendedor, pois um dos grandes desafios na criação de aves de corte é o conforto térmico das aves, que pode ocasionar um gasto energético significativo (Vigoderis, 2006). Dentre os processos de conversão energética a serem aplicados no substrato a gaseificação atualmente é considerada um dos processos de tratamento térmico com maior eficiência em conversão de biomassa em energia (Hossain et al., 2023).

Para a realização de tal processo se vê necessário o entendimento das oscilações das características físico-químicas da cama decorrentes de diversas variáveis, tais como alimentação, clima, reuso do substrato, dentre outras (Lima, 2021). Outro fator que impacta as características da cama de aviário é o número de lotes aos quais o substrato é submetido (Corrêa; Miele, 2011). Por conta disso,



foram realizadas diversas análises com o objetivo de caracterizar a cama de aviário e entender as mudanças físico-químicas do substrato após repetidos usos, seguidas de análises estatísticas das tendências dos resultados obtidos e da validação de uma modelagem do sistema de gaseificação proposto. O modelo matemático validado consiste na simulação do processo de gaseificação da biomassa residual gerada na unidade. A abordagem escolhida foi baseada no equilíbrio químico não estequiométrico, que utiliza o método NASA, fundamentado na minimização da energia livre de Gibbs (Smith; Missen, 1968). Com o modelo validado, será proposto um estudo de caso e, ao final uma análise econômica para avaliar a viabilidade.

Material e métodos

Primeiramente foram coletadas amostras de cama em integrados de uma cooperativa localizada na cidade de Palotina-PR. As amostras foram coletadas de diferentes aviários com diferentes tempos de vida, estes sendo: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 8 e 13 lotes (tratadas como C0 a C13 no decorrer do trabalho), totalizando 8 amostras, sendo C0 a maravalha de pinus pura. As análises de caracterização realizadas seguem conforme tabela abaixo:

Tabela 1 – Parâmetros e metodologias de análises aplicadas

Análise	Metodologia aplicada
Umidade	Estufa
Análise imediata	ASTM E870/71/72-82 e ASTM D1102-84
Composição das cinzas ¹	Leitura ICP OES
Análise elementar (CHONS) ¹	Baseado em ASTM D5373 e ASTM D4239
Poder calorífico superior	ASTM D5865 – 10 (ASTM, 2010)
Fibras	Conforme Detmann et al. (2012)
Nitrogênio total e amoníaco	Método Kjeldahl, conforme metodologia da USP

¹Análise requisitada, aguardando resultados

Fonte: Autor (2025).

O processo de simulação da gaseificação e validação do modelo termodinâmico seguiu três etapas: obtenção de dados referência da biomassa, simulação de gaseificação e por fim comparação com os dados de resposta dos artigos de referência. O software utilizado na etapa da gaseificação é o CEA (Chemical Equilibrium with Applications). Por ser uma ferramenta gratuita e de código aberto, o CEA mostra-se apropriado para aplicações em pesquisas acadêmicas. No entanto, o software apresenta algumas limitações como a ausência do cálculo automático do equilíbrio entálpico, sendo, portanto, necessário realizar cálculos complementares para a determinação da temperatura de equilíbrio do processo de gaseificação. Deve ser ressaltado que o CEA realiza os cálculos assumindo condições típicas de gaseificação em sistemas de leito fixo. Os parâmetros de entrada bem como os dados de saída para comparação utilizados na validação da metodologia aplicada serão conforme Taupe et al., (2016) e Lima (2021).



Resultados e Discussão

Este trabalho encontra-se em andamento, sendo obtidos até o momento resultados parciais para as seguintes análises: umidade, análise imediata, poder calorífico superior, fibras, nitrogênio amoníaco e total, os quais foram submetidos a uma análise estatística. A análise foi realizada com o intuito de entender as tendências existentes e, com isso, selecionar o ponto ótimo de reuso da cama de aviário para gaseificação. Analisando os dados inicialmente foi observado que alguns dos resultados não obedeciam a curva normal, ou seja, se caracterizavam como não paramétricos. Tendo isso em vista foram realizadas duas análises não paramétricas sendo elas a Correlação de Ordem de Spearman (ρ) e Análise de Cluster Hierárquico através da metodologia Ward.

Para a análise de Spearman, primeiramente observando os dados de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas provenientes da análise imediata, foram encontradas fortes correlações. Para as correlações entre usos da cama e carbono fixo ($\rho = -0,76$; $p < 0,05$) e usos e materiais voláteis ($\rho = -0,81$; $p < 0,05$) há uma forte tendência de declínio, comportamento inverso ao observado para as cinzas ($\rho = 0,79$; $p < 0,05$). Quanto as análises de fibras se obtiveram os resultados de quantidade total de hemicelulose ($\rho = -0,62$; $p > 0,05$), celulose ($\rho = -0,86$; $p < 0,05$), e lignina ($\rho = -0,81$; $p < 0,05$), para todos os três resultados foi observada uma tendência de declínio, esta essa sendo mais acentuada para a celulose e tênue na hemicelulose. Em relação ao poder calorífico superior ($\rho = -0,81$; $p < 0,05$) há, também, uma correlação negativa entre o PCS e os usos do resíduo. Para a umidade ($\rho = -0,24$; $p > 0,05$) e nitrogênio total ($\rho = 0,17$; $p > 0,05$) e amoníaco ($\rho = -0,00$; $p > 0,05$) não foram observadas tendências claras de crescimentos ou declínio. Vale ressaltar que as tendências observadas para a análise imediata, fibras e PCS são esperadas e estão de acordo com a literatura vigente. Para o nitrogênio amoníaco vale ressaltar que a cama foi seca em estufa anteriormente ao teste e por esta razão não foi possível observar tendência alguma.

Observando os clusters hierárquicos por Ward, método que agrupa as amostras semelhantes, evidenciando afinidade entre as características, notou-se uma alta afinidade para a análise imediata e fibras. A amostra sem grupo e então com menos semelhança é a virgem (C0), o que se justifica pelo seu perfil químico observado na análise anterior, com baixo teor de cinzas e alto teor de voláteis e celulose. Seguindo, as amostras C4 e C5 formaram um grupo de médio reuso da cama de aviário com altíssima similaridade, as amostras C2 e C3 em um grupo de baixo reuso com alta similaridade e, ambos os grupos, com afinidade a C1. Há também o grupo de alto uso composto pelas amostras de C13 e C8, que se assemelham por terem baixa concentração de matéria orgânica e alto teor de cinzas. Quanto a umidade e nitrogênios não há um cluster hierárquico de relevância clara, o que indica que o número de uso não foi relevante na variabilidade desses resultados, porém vale ressaltar que a amostra virgem seguiu sendo segregada de todos os grupos formados.

Para a validação da metodologia utilizada nas simulações de gaseificação, primeiramente se viu necessário a coleta dos dados de entrada a serem implementados no CEA, estes sendo: razão de equivalência estequiométrica, umidade, oxidante utilizado, composição elementar da cama, parâmetros de saída considerados e temperatura do processo. Com os dados implementados no programa, foi obtida a composição do gás de síntese para os parâmetros de entrada de ambas as referências. A simulação realizada com os dados de Lima (2021) houve uma discrepância máxima de -1,02% referente a quantidade de CO no gás de síntese, os valores extremamente próximos se dão pelo fato de que a referência também realizava simulações baseadas na energia livre de Gibbs. Quanto a Taupe et al., (2016) houve diferença de -18,50% no CO, a divergência é esperada e atribuída à natureza fundamental de um



modelo de equilíbrio, que opera sob premissas ideais. O modelo não contabiliza fenômenos intrínsecos a um gaseificador real, tais como limitação cinética e perdas térmicas.

Considerações finais

Observou-se que, mediante as premissas estabelecidas o modelo matemático utilizando o software CEA conseguiu prever bem a composição do gás de síntese para as referências utilizadas durante a validação. Necessita-se agora aguardar as análises laboratoriais restantes para que em conjunto com os dados atuais elas possam ser analisadas e um ponto ótimo de utilização da cama de aviário ser escolhido para o processo de gaseificação. Com os dados em mãos será realizado um estudo teórico de aplicação do processo de gaseificação e utilização do gás de síntese, juntamente com a devida análise econômica.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia (PPGB) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) pelo suporte institucional.

Referências

- CORRÊA, J. C.; MIELE, M. Capítulo 3: **A cama de aves e os aspectos agrônômicos, ambientais e econômicos**. Embrapa, 2011.
- HOSSAIN, S; NUHASH, S. S; PAUL, S; RIAD, M. I; BHOWMIK, S. **Energy generation and techno-economic potential assessment of poultry litter waste gasification in Bangladesh**. International Conference on Engineering Research, Innovation, and Education (ICERIE), 2023.
- LIMA, V. O. D. **Aproveitamento do potencial energético da cama de aviário por processo de gaseificação**. Trabalho de conclusão de curso, Palotina: Universidade Federal do Paraná (UFPR), 2021.
- SMITH, W. R.; MISSEN, R. W. **Calculating Complex Chemical Equilibria by an Improved Reaction-Adjustment Method**. The Canadian Journal of Chemical Engineering, 1968.
- TAUPE, N. C.; LYNCH, D.; WNETRZAK, R.; KWAPINSKA, M.; KWAPINSKA, W.; LEAHY, J. J. **Updraft gasification of poultry litter at farm-scale – A case study**. Waste Management, 2016.
- TESSARO, A. A.; **Potencial energético da cama de aviário produzida na região do sudoeste do Paraná utilizada como substrato para produção de biogás**. Dissertação de pós graduação, Curitiba: Instituto de Engenharia do Paraná (IEP), 2011.
- VIGODERIS, R. B. **Sistemas de aquecimento de aviários e seus efeitos no conforto térmico ambiental, qualidade do ar e performance animal, em condições de inverno, na região sul do Brasil**. Tese de doutorado, Viçosa: Universidade Federal de Viçosa (UFV), 2006.



APLICAÇÕES HÍBRIDAS DE PRODUTOS NATURAIS EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

Tiago Sawczen¹, Prof.^a Dra. Cynthia B. Furstenberger¹

¹Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO

Palavras-chave

Extratos etanólicos naturais, células solares sensibilizadas por corantes (CSSC), *Ruta graveolens*, *Annona muricata*, energias renováveis.

Resumo

O presente trabalho investiga o uso de extratos etanólicos naturais de *Ruta graveolens* (arruda) e *Annona muricata* (graviola) na formulação de células solares sensibilizadas por corantes (CSSC). Os extratos foram preparados por imersão em etanol PA 99,5%, resultando em soluções ricas em flavonoides, taninos e ácidos fenólicos, compostos com reconhecida ação fotossensibilizante, anticorrosiva e antimicrobiana. Esses extratos apresentam potencial para substituir corantes sintéticos e reduzir a corrosão dos eletrodos em dispositivos expostos à radiação e umidade, ampliando a durabilidade e a sustentabilidade dos sistemas. Ensaios microbiológicos demonstraram atividade contra *Escherichia coli*, e análises eletroquímicas indicaram efeito inibidor de corrosão comparável a agentes sintéticos como a dodecilamina. Os resultados evidenciam a viabilidade de incorporar extratos vegetais em tecnologias solares limpas, integrando funções fotossensibilizantes, antioxidantes e protetoras.

Introdução

As células solares sensibilizadas por corantes (CSSC) destacam-se como alternativas promissoras às tecnologias fotovoltaicas convencionais, devido ao baixo custo, simplicidade de fabricação e possibilidade de uso de materiais naturais (CALOGERO et al., 2016; MAHAJAN; RAO; JOSHI, 2024). O emprego de corantes vegetais tem se intensificado por permitir a substituição de compostos sintéticos, reduzindo impactos ambientais e ampliando a sustentabilidade dos dispositivos (SUYITNO; WIDODO; HANDAYANI, 2024).

Entre as fontes naturais de interesse, extratos etanólicos de *Ruta graveolens* (arruda) e *Annona muricata* (graviola) apresentam compostos fenólicos e flavonoides capazes de atuar como fotossensibilizantes, antioxidantes e inibidores de corrosão (MELLAL et al., 2018; DA CUNHA; RIBAS; CARDOZO, 2022). Estudos indicam que esses compostos melhoram a transferência eletrônica e protegem materiais metálicos em sistemas eletroquímicos (VIJAYAN; KUMAR; KHALID, 2022). Assim, este trabalho avalia o potencial dos extratos etanólicos dessas espécies como agentes multifuncionais em sistemas sustentáveis, visando sua futura aplicação em células solares sensibilizadas por corantes e outras tecnologias de energia limpa (CAMPOS; FREITAS; SILVA, 2023).

Material e métodos

Foram preparados dois extratos etanólicos: ExA, obtido das folhas e talos de *Ruta graveolens* L., e ExG, das sementes de *Annona muricata* L. As amostras vegetais foram maceradas em etanol PA 99,5%



(1:10 m/v) por 168 h, em frascos vedados e protegidos da luz. Após filtração, os extratos foram armazenados em frascos âmbar até o uso.

A atividade antimicrobiana foi avaliada pelo teste de disco-difusão (Kirby-Bauer) conforme protocolo da ANVISA, utilizando a cepa *Escherichia coli* ATCC 25922. Os halos de inibição foram medidos com paquímetro digital após 24 h de incubação a 37 °C.

Os ensaios eletroquímicos foram realizados em célula de três eletrodos, com aço carbono SAE 1020 como eletrodo de trabalho, solução de NaCl 3,5% e potenciostato Metrohm Autolab PGSTAT302N. Aplicaram-se as técnicas de OCP, PPA e EIE, utilizando a dodecilamina (DDA) como inibidor sintético de referência.

Resultados e Discussão

Os extratos etanólicos ExA (*Ruta graveolens* L.) e ExG (*Annona muricata* L.) apresentaram coloração intensa e estabilidade após o processo de maceração, indicando extração eficiente de compostos bioativos.

Nos ensaios microbiológicos, ambos demonstraram atividade antimicrobiana frente à bactéria *Escherichia coli* (ATCC 25922), com halos de inibição de 12 mm para o ExA e 13 mm para o ExG, enquanto o etanol controle não apresentou qualquer efeito. Esses resultados confirmam a presença de compostos fenólicos e flavonoides com ação antimicrobiana, cuja eficiência se aproxima de antibióticos de referência, como a Estreptomina e a Colistina.

Tabela 1: Resultados dos testes de Kirby-Bauer obtidos para as matérias primas e soluções etanólicas.

Amostra	Halo de inibição	Resultado
<i>Et</i>	0 mm	Resistente
<i>ExA</i>	12 mm	Sensível
<i>ExG</i>	13 mm	Sensível

Os ensaios eletroquímicos indicaram a formação de uma camada protetora adsorvida sobre a superfície metálica. O Potencial de Circuito Aberto (OCP) mostrou deslocamento positivo de até 60 mV em relação ao meio controle, evidenciando a ação inibidora dos extratos. A Polarização Potenciostática Anódica (PPA) revelou redução da densidade de corrente de corrosão, e o extrato de graviola (ExG) apresentou comportamento semelhante ao inibidor sintético dodecilamina (DDA), enquanto o de arruda (ExA) exibiu desempenho intermediário.

Nos diagramas de impedância (EIE), observou-se aumento do diâmetro dos arcos capacitivos e da resistência à transferência de carga, confirmando a eficiência protetora dos extratos frente ao aço carbono 1020.

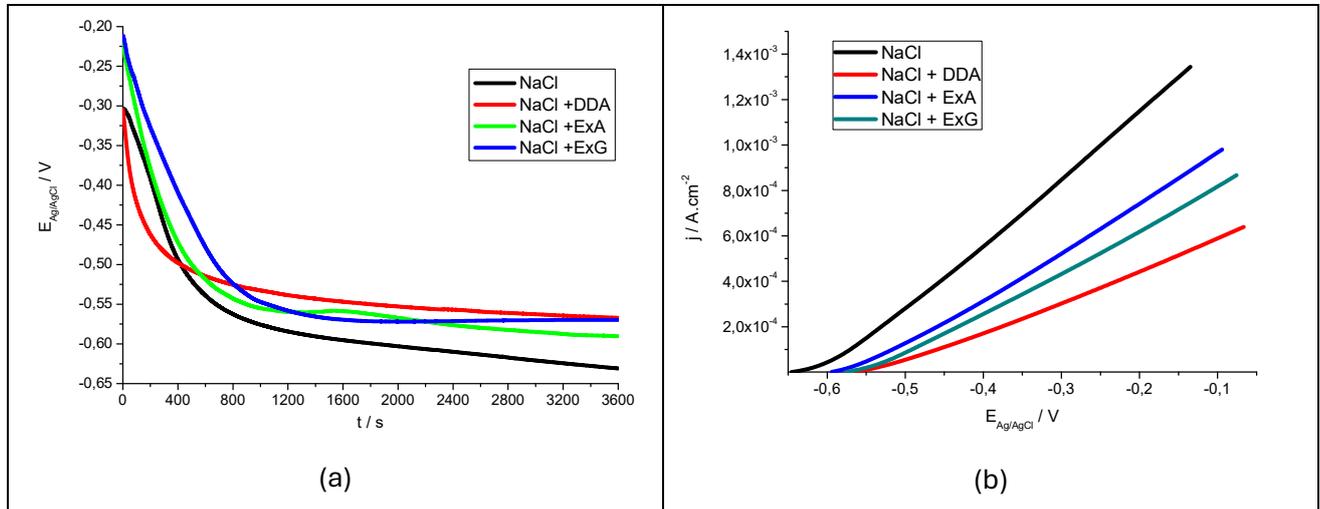


Figura 1: (a) Curvas de OCP obtidas para os diferentes sistemas, em solução de NaCl $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$, com e sem a adição das soluções de DDA, ExA e ExG. (b) Curvas de PPA obtidas para os diferentes meios, com velocidade de varreduras de 1 mV.s^{-1} .

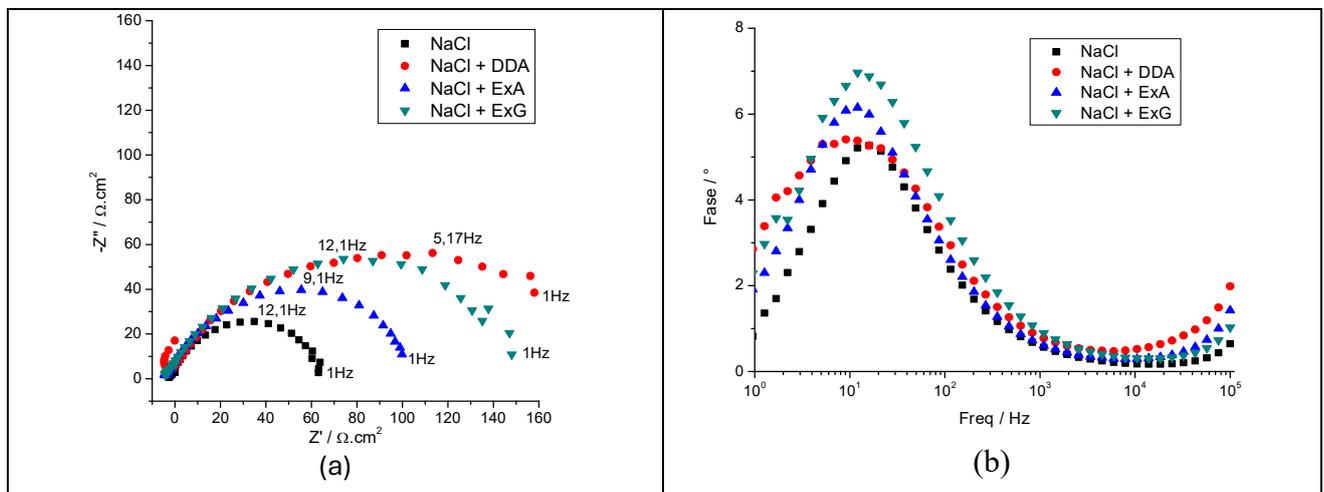


Figura 2: (a) Diagramas de Nyquist obtidos para os diferentes meios de estudo. (b) Diagramas de ângulo de fase para os diferentes meios de estudo.

Esses resultados demonstram que os extratos etanólicos atuam de forma sinérgica como **inibidores naturais de corrosão e agentes antimicrobianos**, reforçando seu potencial de aplicação em **sistemas sustentáveis e tecnologias híbridas de energia limpa**.

Considerações finais

Os extratos etanólicos de *Ruta graveolens* (ExA) e *Annona muricata* (ExG) apresentaram atividade antimicrobiana frente à *Escherichia coli* (ATCC 25922) e eficiência inibidora de corrosão para



o aço carbono 1020. O ExG mostrou desempenho comparável ao inibidor sintético dodecilamina (DDA), enquanto o ExA exibiu efeito protetor intermediário. Esses resultados confirmam o potencial dos extratos vegetais como alternativas naturais e sustentáveis para uso em sistemas eletroquímicos e, futuramente, em células solares sensibilizadas por corantes (CSSC).

Agradecimentos

UNICENTRO, CAPES, CNPq.

Referências

- AMEER, A.; ARIF, M.; ZUBAIR, S. *Performance analysis of Annona muricata seed extract as natural sensitizer for DSSCs*. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, Amsterdam, v. 339, p. 125–134, 2016.
- CALOGERO, G.; DI MARCO, G.; CARLO, A. D.; VELLA, N. *Dye-sensitized solar cells and natural pigments: status and perspectives*. **Solar Energy**, Oxford, v. 132, p. 38–52, 2016.
- CAMPOS, M. R.; FREITAS, L. R.; SILVA, J. C. *Materiais bioinspirados e sustentabilidade energética: avanços e desafios na aplicação de pigmentos naturais em dispositivos fotovoltaicos*. **Revista Brasileira de Energia Sustentável**, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 44–59, 2023.
- DA CUNHA, D. F.; RIBAS, C. E.; CARDOZO, L. M. *Extração etanólica de compostos fenólicos e sua aplicação como inibidores de corrosão em ligas metálicas*. **Química Nova**, São Paulo, v. 45, n. 7, p. 912–920, 2022.
- MAHAJAN, U.; RAO, R.; JOSHI, A. *Recent progress in natural dye-based sensitizers for solar energy conversion*. **Renewable & Sustainable Energy Reviews**, Oxford, v. 188, p. 113931, 2024.
- MELLAL, M.; CHOUKCHOU-BRAHAM, A.; HAMITOCHE, H.; TOUAHRIA, C. *Ruta graveolens L. leaf extract as a green corrosion inhibitor for carbon steel in acidic medium*. **Corrosion Science**, Amsterdam, v. 142, p. 286–295, 2018.
- SILVA, T. R.; FERREIRA, C. R.; SOUZA, A. G. *Antimicrobial activity of plant-based extracts against biofilm-forming bacteria*. **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 81, n. 4, p. 988–997, 2021.
- SUYITNO, S.; WIDODO, D. S.; HANDAYANI, N. *Anthocyanin-based dyes extracted from tropical plants as sensitizers in DSSCs*. **Journal of Applied Research and Technology**, Cidade do México, v. 22, p. 203–214, 2024.
- VIJAYAN, R.; KUMAR, D.; KHALID, M. *Corrosion protection and photovoltaic performance synergy in bio-inspired DSSC systems*. **Solar Energy Materials and Solar Cells**, Amsterdam, v. 248, p. 112097, 2022.



UTILIZAÇÃO DE DIÓXIDO DE TITÂNIO (TiO₂) E BIOCHAR NA PRODUÇÃO DE ETANOL DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR SEMENTE LIGNOCELULÓSICAS

Camila Camargo Gomes¹, André Lazarin Gallina¹

¹Universidade Estadual do Centro-Oeste

Palavras-chave

fotocatálise, pirólise, nanotubos.

Resumo

O pré tratamento de biomassa para conversão de biomassa em biocombustíveis por fotocatalise, é uma abordagem que com potencial significativo para a obtenção de níveis mais altos de processo químico sustentáveis. O estudo propõe a produção de nanotubos de TiO₂ pelo método hidrotérmico alcalino e de biochar por pirólise, aplicando-os no pré-tratamento fotocatalítico da biomassa de HB e imobilização de enzimas nos nanotubos para hidrólise enzimática, visando a possibilidade de reutilização do catalisador e enzimas. As caracterizações serão realizadas por DRX, MEV-EDX e TGA, além da análise físico-química do biochar: Teor de umidade, pH, material volátil, teor de cinzas, e carbono fixo. Espera-se redução do tempo de hidrólise, desintoxicação do mosto, aumento do rendimento fermentativo e estabilidade enzimática, promovendo a reutilização de catalisadores e enzimas, e contribuindo para o avanço de processos sustentáveis na produção de biocombustíveis.

Introdução

Mesmo com várias ações para melhorar a eficiência no uso de energia, a demanda mundial por energia continua aumentando. A maior parte da demanda global de energia primária é atendida por combustíveis fósseis, que representam 81,5% em 2023. Essa tendência de crescimento persiste, apesar dos esforços para aumentar a instalação de centros de produção de energia renovável e da redução da demanda energética nos países desenvolvidos (MAZARIEGOS et al., 2025).

Uma ferramenta que vem se mostrando indispensável na sustentabilidade ambiental é a catálise, por impulsionar reações químicas que são energeticamente eficiente e ecologicamente corretas, os termos eletrocatalise e fotocatalise demonstram capacidades de degradação de poluentes, produção de energia limpa, processos de conversão de resíduos em recursos (ABBASI, 2025).



O pré tratamento de biomassa para conversão em biocombustíveis por fotocatalise, é uma abordagem que com potencial significativo para a obtenção de níveis mais altos de processo químico sustentáveis (WANG et al., 2024). Pois a fotocatalise usa a clivagem seletiva das ligações C-O e C-C na lignina, sendo crucial para a quebra de sua estrutura complexa, esta clivagem seletiva permite a despolimerização da lignina em compostos aromáticos precursores de biocombustíveis (CHAN; EPELLE, 2025).

A utilização do TiO_2 em processos fotocatalíticos tem se mostrado promissor para o tratamento de biomassa, pois este catalisador possui alto potencial de oxidação sob UV, estabilidade química, reutilizabilidade trazendo custo benefício e compatibilidade ambiental (THEERAKARUNWONG; CHOUYCHAI; KHOMPUN, 2025).

O biochar sendo um composto de carbono poroso, possui características como: superfície, estruturas e grupos funcionais, faz com que possa ser empregado como um catalisador para geração de biocombustíveis. Além disso, também podem facilitar a deriva de um catalisado, pois seus grupos funcionais presente na superfície são conhecidos pela adsorção de precursores metálicos (VAN NHANH NGUYEN et al., 2024).

Este trabalho tem por objetivo propor a análise da viabilidade da utilização do dióxido de titânio (TiO_2) no pré tratamento por fotocatalise de biomassa de HB, desintoxicação do mosto por biochar e a encapsulação de enzimas comerciais nos nanotubos para hidrólise enzimática.

Material e métodos

Matéria prima utilizada

Grimpa de reservas ambientais da cidade de Porto Barreiro/PR e resíduo da extração do óleo da semente de HB cedidas pelas empresas APABOR e TH.

Hidrólise ácida

Para o pré tratamento da biomassa será realizado um procedimento de acordo com a metodologia de Kim., et al (2025). Onde serão realizados ensaios com ácido sulfúrico diluído em uma proporção de 0- 5% peso de H_2SO_4 em 1g da amostra em 115 °C por 50 minutos.



Preparo dos nanotubos de TiO₂

O preparo dos nanotubos de TiO₂ será realizado por meio do método hidrotérmico, baseado na metodologia de Kasuga et al (1998) onde 5 g de TiO₂ será adicionado em 100 mL de uma solução de NaOH (10 mol.L⁻¹) e realizada a uma agitação por 1 h a 50 °C, após homogeneização a mistura será transferida para o tratamento hidrotérmico em autoclave em 110 °C por 20 h. Após o tratamento o material será lavado com água deionizada e HCl 0,1 mol.L⁻¹ até atingir a neutralidade, e por fim levado a calcinação em 600 °C durante 1 hora (referências mais novas). Para a caracterização serão realizadas serão difração com raio x (DRX), Microscopia eletrônica de varredura (MEV) acoplada a um analisador de raio X por dispersão de energia (EDX), análise termogravimétrica (TGA). Para o pré tratamento da biomassa de HB por meio de fotocatalise será realizado utilizando um fotoreator com luz UV sobre uma chapa de aquecimento em 70 °C, 50 g de HB será misturado na suspensão de nanotubos de TiO₂ (1, 2 e 3 wt%) por períodos variados de 1, 2 e 3 horas (THEERAKARUNWONG; CHOUYCHAI; KHOMPUN, 2025).

Desintoxicação do hidrolisado

O biochar será produzido pela metodologia adaptada de Hasanzadeh., et al (2023) de pirólise de matéria prima que será a grimpá fornecida pela prefeitura de Porto Barreiro/PR sob condições de baixo oxigênio a 500 °C em um período de 6 horas. Ele será utilizado para a desintoxicação do mosto após os processos de hidrólise por 2 horas. As caracterizações do biochar em serão: Teor de umidade, pH, material volátil, teor de cinzas, e carbono fixo.

Hidrólise enzimática

Para o encapsulamento da enzima nos nanotubos o método seria por adsorção simples, onde a enzima é confinada com baixa mobilidade, mas permanecendo como componentes livres, permanecendo presa na matriz do material a tornando mais estável e facilitando a recuperação (GAMA et al., 2024). A enzima será adquirida comercialmente e para o método, será adicionada a uma solução tampão de fosfato em temperatura e pH ideal dependendo da ficha técnica da enzima, então será adicionado os nanotubos a está solução sob agitação.



Quantificação de açúcares redutores

A concentração de açúcares redutores será avaliada pelo método de Miller (1959), utilizando-se o método do ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS).

Fermentação e destilação

A fermentação será realizada em batelada utilizando 1g da levedura *Saccharomyces cerevisiae*. O volume de mosto obtido após os procedimentos de pré tratamento será dividido em duas etapas de fermentação, usando metade do volume do mosto em uma primeira, a fermentação e o restante após 18 h de fermentação e a destilação será por meio de arraste a vapor. E o etanol obtido será caracterizado de acordo com os padrões Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (ANP, 2018).

Resultados esperados

Com a produção desse trabalho os resultados esperados serão: Redução do tempo de reação no processo de hidrólise de biomassa; desintoxicação do mosto dos inibidores de fermentação por meio do biochar, gerando maiores rendimentos de etanol; estabilidade enzimática aumentada e potencial de reutilização do catalizador e enzimas durante os processos de hidrólise.

Agradecimentos

Agradeço ao órgão de fomento de pesquisa CAPES pelo incentivo com a bolsa de pesquisa, a Universidade Estadual do Centro – Oeste do Paraná (UNICENTRO) ao programa de pós graduação em Bioenergia, ao grupo de pesquisa InovaBioS, as empresas APABOR e TH Tonus por fornecer as sementes de HB e a Prefeitura de Porto Barreiro através da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Proteção Animal e Sustentabilidade, ao Fundo Municipal de Meio Ambiente e as Unidades de Conservação pelo fornecimento de material para a produção do biochar e financiamento.

Referências

ABBASI, E. Integrated Thermocatalytic and Photocatalytic Valorization of *Hermetia illucens* Biomass for Renewable Fuel and Chemical Production. **Cleaner and Circular Bioeconomy**, v. 12, p. 100168–100168, 28 jul. 2025

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS ANP. **Relatório Mensal do Controle da Qualidade de Combustíveis**. ANP. 2018



CHAN, E.; EPELLE, E. I. Advanced oxidation for optimising biomass-to-biofuel conversion. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 13, n. 5, 6 ago. 2025

GAMA, L. et al. Advancements in enzyme immobilization on magnetic nanomaterials: toward sustainable industrial applications. **RSC Advances**, v. 14, n. 25, p. 17946–17988, 1 jan. 2024.

HASANZADEH, M. et al. Persulfate-assisted heterogeneous photocatalytic degradation of furfural from aqueous solutions using TiO₂–ZnO/biochar composite. **Heliyon**, v. 9, n. 11, p. e21421, nov. 2023

KASUGA, T. et al. Formation of Titanium Oxide Nanotube. **Langmuir**, v. 14, n. 12, p. 3160–3163, 23 maio 1998.

KIM, S. et al. Bioconversion of xylan in peanut husks to xylitol without detoxification by optimizing the diluted acid hydrolysis process. **Industrial Crops and Products**, v. 224, p. 120339, fev. 2025.

MAZARIEGOS, I. et al. Reducing fossil fuel demand by using biofuels as an alternative hydrothermal liquefaction is a promising process for transforming biomass into drop-in fuels. **RSC Sustainability**, v. 3, n. 8, p. 3228–3265, 2025.

Theerakarunwong, C. D., Chouychai, W., & Khompun, W. (2025). Bioethanol conversion from lignocellulosic biomass: a combined TiO₂ photocatalytic pretreatment and Pt/WO₃-catalyzed chemocatalytic reaction. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**. <https://doi.org/10.1002/bbb.2755>

VAN NHANH NGUYEN et al. Biochar-based catalysts derived from biomass waste: production, characterization, and application for liquid biofuel synthesis. **Biofuels Bioproducts and Biorefining**, v. 18, n. 2, p. 594–616, 1 fev. 2024.

WANG, H. et al. Photothermal catalytic enhancement of lignocellulosic biomass conversion: A more efficient way to produce high-value products and fuels. **Chemical engineering journal**, p. 153772–153772, 1 jul. 2024.



DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA NANOPARTICULADO CONTENDO ALOÍNA E RUTINA COMO ANTIOXIDANTE PARA BIODIESEL

Hagata Emmanuely Slusarski Fonseca¹

Maico Taras da Cunha¹

Guilherme Arielo Rodrigues Maia²

Everson do Prado Banczek¹

¹Universidade Estadual do Centro-Oeste - UNICENTRO

²Universidade Estadual de Londrina - UEL

Palavras-chave

Biodiesel, antioxidantes naturais, aloína, rutina, nanopartículas de gelatina.

Resumo

O biodiesel é uma fonte energética renovável obtida a partir de óleos vegetais ou gorduras animais, apresentando vantagens ambientais e socioeconômicas em relação aos combustíveis fósseis. No entanto, sua principal limitação é a instabilidade oxidativa, que resulta na formação de peróxidos e ácidos graxos livres, comprometendo a qualidade e o tempo de armazenamento. Tradicionalmente, aditivos antioxidantes sintéticos, como o butil-hidroxitolueno (BHT) e o terc-butil-hidroquinona (TBHQ), têm sido utilizados para minimizar essa degradação. Contudo, esses compostos apresentam toxicidade e baixo apelo ambiental, o que estimula a busca por alternativas naturais mais seguras e sustentáveis. Neste contexto, o presente trabalho propõe o desenvolvimento de nanopartículas de gelatina contendo antioxidantes naturais como a aloína e a rutina, visando sua aplicação como aditivos antioxidantes no biodiesel. A incorporação desses compostos em uma matriz proteica tem como objetivo proteger suas estruturas contra degradação térmica e fotoquímica, além de proporcionar uma liberação controlada e melhorar a compatibilidade com o meio combustível. Espera-se, assim, aumentar a estabilidade oxidativa do biodiesel e prolongar seu tempo de armazenamento, contribuindo para a viabilidade técnica e ambiental desse biocombustível.

Introdução

O aumento da demanda por fontes de energia renovável tem impulsionado o uso do biodiesel como alternativa sustentável aos derivados de petróleo. Apesar de suas vantagens, o biodiesel apresenta elevada tendência à oxidação devido à presença de insaturações nos ésteres metílicos de ácidos graxos. Esse processo gera subprodutos indesejáveis que alteram parâmetros físico-químicos, como índice de acidez, viscosidade e estabilidade térmica, reduzindo a qualidade final do combustível (Ramos et al., 2017).



A utilização de antioxidantes é uma estratégia eficiente para retardar o processo oxidativo. Entretanto, antioxidantes sintéticos apresentam limitações quanto à toxicidade e impacto ambiental, além de serem derivados de fontes não renováveis. Nesse cenário, compostos naturais com propriedades antioxidantes, como a aloína e a rutina, emergem como alternativas promissoras (Tariq et al., 2012).

A aloína é um composto antraquinônico extraído do gel da *Aloe vera*, com comprovadas propriedades antioxidantes, anti-inflamatórias e antimicrobianas. Já a rutina, um flavonoide amplamente distribuído em frutas cítricas e grãos, apresenta elevada capacidade de neutralizar radicais livres e estabilidade térmica superior à de outros compostos fenólicos. Contudo, ambas apresentam limitações quanto à solubilidade e estabilidade, fatores que podem restringir sua aplicação direta em meios apolares como o biodiesel (Kumar et al., 2024; Oliveira et al., 2023).

O encapsulamento desses antioxidantes em nanopartículas de gelatina bovina surge como uma estratégia eficaz para contornar essas limitações. A gelatina é uma proteína natural obtida da desnaturação do colágeno, amplamente utilizada por ser biodegradável, biocompatível, de baixo custo e facilmente processável. Além disso, sua estrutura funcional permite a formação de matrizes estáveis e reticuladas capazes de proteger e liberar gradualmente compostos bioativos (Martins et al., 2023; RSC Advances, 2025).

Materiais e métodos

Obtenção das nanopartículas de gelatina contendo aloína e rutina

As nanopartículas serão obtidas pelo método de dessolvatação em dois passos, amplamente utilizado para a produção de partículas proteicas com alta estabilidade. A gelatina bovina tipo B (180 Bloom) será dissolvida em água destilada a 40 °C sob agitação, seguida da adição gradual de acetona P.A., promovendo a primeira dessolvatação e remoção de impurezas. O precipitado será descartado, e a fração solúvel será redissolvida em água.

O pH será ajustado para 11,0 com NaOH 1 mol L⁻¹ para favorecer a exposição dos grupos funcionais da gelatina e a incorporação dos antioxidantes. Soluções de aloína e rutina serão então adicionadas sob agitação contínua, e uma segunda dessolvatação será conduzida pela adição lenta de acetona. A reticulação será realizada com glutaraldeído (200 µL), garantindo maior estabilidade térmica e mecânica. Após 4 h de agitação a 40 °C, as nanopartículas serão purificadas por centrifugação e lavagem com água destilada, sendo armazenadas a 4 °C até a caracterização.

Caracterização das nanopartículas

As nanopartículas serão avaliadas quanto ao tamanho médio, índice de polidispersividade (PDI) e potencial zeta por espalhamento dinâmico de luz (DLS). A morfologia será observada por microscopia eletrônica de varredura (MEV), e a estabilidade térmica por análises TG/DTG e DSC.



A eficiência de encapsulamento (EE%) será determinada após degradação enzimática com tripsina e quantificação dos antioxidantes por HPLC (280 nm para aloína e 350 nm para rutina). Essas análises permitirão confirmar a qualidade e estabilidade das nanopartículas para uso em biodiesel.

Obtenção do biodiesel

O biodiesel será produzido por transesterificação de óleo vegetal com metanol e NaOH como catalisador. O óleo será aquecido a 60 °C e reagido com metóxido de sódio por 60 min sob agitação. Após separação e lavagem, o biodiesel será seco em estufa a 105 °C e armazenado em frascos âmbar protegidos da luz.

Caracterização do biodiesel e avaliação antioxidante

A caracterização inicial seguirá a norma EN 14214, avaliando índice de acidez, densidade, viscosidade cinemática e teor de ésteres metílicos. As formulações antioxidantes serão preparadas com diferentes concentrações das nanopartículas de gelatina contendo aloína e rutina, e sua estabilidade oxidativa será determinada pelo teste Rancimat (EN 14112).

Ensaio complementares de espectrofotometria UV-Vis, índice de acidez e viscosidade serão realizados após armazenamento acelerado. Os resultados das amostras com antioxidantes naturais serão comparados aos obtidos com BHT, avaliando a eficácia das nanopartículas no retardamento da oxidação.

Resultados Esperados

Devem ser obtidas nanopartículas homogêneas, estáveis e com alta eficiência de encapsulamento de aloína e rutina. A reticulação com glutaraldeído deverá conferir maior estabilidade térmica e mecânica ao sistema. A análise DLS deve indicar tamanhos nanométricos homogêneos, com baixos valores de PDI, demonstrando uniformidade da dispersão.

A presença dos antioxidantes encapsulados deverá aumentar a resistência térmica observada nas curvas TG/DSC e retardar o processo oxidativo no biodiesel, evidenciado pelo aumento do tempo de indução no teste Rancimat. Assim, as nanopartículas de gelatina contendo aloína e rutina podem se apresentar como uma alternativa sustentável aos antioxidantes sintéticos, aliando eficiência, baixo custo e origem natural.

Considerações finais

A utilização de gelatina bovina como matriz para encapsulamento de compostos antioxidantes naturais é uma abordagem inovadora e ambientalmente favorável para aplicação em biocombustíveis. O sistema proposto busca unir a eficiência de moléculas bioativas, como aloína e rutina, às vantagens tecnológicas da nanotecnologia verde, promovendo maior estabilidade e vida útil ao biodiesel. Dessa



forma, este projeto contribui para o desenvolvimento de aditivos naturais, seguros e sustentáveis, fortalecendo o uso de energias limpas e renováveis no contexto atual.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia pela oportunidade de desenvolvimento da pesquisa e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Referências

- KUMAR, S. et al. *Study on the antioxidant activity of aloe-emodin and its derivatives*. *Molecules*, 2024.
- MARTINS, P. F. et al. *Nanoparticles of Betalain–Gelatin with Antioxidant Properties by Coaxial Electrospraying*. *Polymers*, 2023.
- NAHAR, M. et al. *Gelatin nanoparticles: synthesis, characterization, and applications*. *International Journal of Pharmaceutics*, 2008.
- OLIVEIRA, J. et al. *Cutaneous biocompatible rutin-loaded gelatin-based nanoparticles increase the SPF*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B*, 2023.
- RAMOS, L. P. et al. *Prospects of biodiesel production from microalgae lipids: a review*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.75, p. 444–456, 2017.
- RSC Advances. *Gelatin-based materials: fabrication, properties and applications in the food packaging system*. 2025.
- TARIQ, M. et al. *Antioxidant additives and their effect on the oxidation stability of biodiesel*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.16, p. 2352–2359, 2012.



EFEITO DO PRÉ-TRATAMENTO DE INÓCULO NA PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO POR FERMENTAÇÃO ESCURA

Vanessa Campagnoli Ursulino¹

Aline Lopes¹

Paula Polastri¹

¹ Instituto Cesumar de Ciência, Tecnologia e Inovação – ICETI, Universidade Cesumar – UNICESUMAR.

Palavras-chave

Bioenergia, Biohidrogênio, Digestão anaeróbia, Energia limpa, Lodo anaeróbio.

Resumo

A transição energética global impulsiona o desenvolvimento de tecnologias voltadas à substituição de combustíveis fósseis por fontes renováveis e limpas, dentre as quais o hidrogênio (H₂) destaca-se como vetor energético promissor por seu alto poder calorífico e ausência de emissões poluentes. Contudo, a produção convencional de hidrogênio ainda depende de fontes fósseis, o que motiva a busca por rotas mais sustentáveis, como a fermentação escura com a utilização de resíduos sólidos e efluentes líquidos de origem orgânica como substratos. Nesse contexto, este trabalho apresenta uma revisão de literatura sobre a produção de hidrogênio via fermentação escura, com ênfase nos métodos de pré-tratamento aplicados ao inóculo proveniente de estações de tratamento de esgoto (ETE). A pesquisa indicou que o choque térmico se mostrou mais eficiente, com maior rendimento e estabilidade da produção de H₂ ao favorecer a predominância de bactérias do gênero *Clostridium*. Assim, os resultados evidenciam que o pré-tratamento térmico do inóculo é uma estratégia simples, eficaz e de potencial aplicação industrial.

Introdução

A transição energética global tem impulsionado as pesquisas voltadas à produção de energias alternativas e à sua implementação em escala industrial (Albuquerque *et al.*, 2024), nesse contexto, o hidrogênio (H₂) é considerado um dos vetores energéticos, devido suas características únicas, como alto poder calorífico e gerar apenas água na combustão (Singh *et al.*, 2022).

Por outro lado, sua produção industrial ainda depende majoritariamente de fontes fósseis de energia, como o gás natural e o carvão. O hidrogênio pode ser produzido por diversos métodos e tecnologias, entre eles por fermentação escura (*dark fermentation*) com diversos substratos, incluindo resíduos e efluentes orgânicos (Mokhtarazi; Zanganeh; Moghtaderi, 2025). O desempenho da produção de “biohidrogênio” por meio de fermentação escura depende fortemente da composição microbiana do inóculo, geralmente composto por consórcios anaeróbios. No entanto, a fonte de consórcio microbiano, contém arqueias metanogênicas, que consomem o H₂ produzido, o que reduz o rendimento global da digestão (Tian; Pan; Wang, 2024). Portanto, diferentes métodos de pré-tratamento vêm sendo estudados para inativar microrganismos indesejados e favorecer a seleção de espécies na fase de acetogênese (Al-Haddad *et al.*, 2023).



Diversas tecnologias de pré-tratamento têm sido aplicadas em lodos anaeróbios utilizados como inóculo, provenientes de estações de tratamento de esgoto (ETE), a aplicação dessas estratégias ao lodo de ETE tem dupla relevância ambiental: além de viabilizar a produção de biohidrogênio como fonte renovável, promove a valorização energética de um resíduo urbano de difícil destinação (Tian; Pan; Wang, 2024).

Assim, compreender o efeito dos diferentes pré-tratamentos de inóculo sobre a atividade microbiana e o desempenho fermentativo é fundamental para otimizar a fase acidogênica e integrar esse processo à gestão sustentável de águas residuárias. Diante disso, o presente trabalho tem por objetivo apresentar uma análise das principais tecnologias de pré-tratamento aplicadas a lodos anaeróbios de ETE para uso como fonte de inóculo na produção de hidrogênio em processos de digestão anaeróbia.

Material e métodos

No presente estudo, realizou-se uma revisão de literatura sobre a produção de biohidrogênio por fermentação escura, com foco nos métodos de pré-tratamento do inóculo de ETE. A busca bibliográfica foi realizada nas bases *ScienceDirect* e *Scopus*, abrangendo o período de 2000 a 2025, contemplando artigos originais e de revisão.

A estratégia de busca utilizou operadores lógicos (e/ou) e palavras-chave relacionadas ao tema central, como “*biohydrogen*”, “*wastewater sludge*”, “*pretreatment*” e “*inoculum pretreatment*”. Os artigos foram selecionados conforme aqueles que apresentavam dados experimentais, análises comparativas e discussões sobre a influência dos pré-tratamentos físicos e químicos no desempenho da fermentação escura para produção de hidrogênio.

Resultados e discussão

Para inibir a atividade metanogênica, o pré-tratamento do inóculo é uma etapa necessária na fermentação escura para produção de hidrogênio. Uma variedade de métodos físicos e químicos é descrita na literatura para o pré-tratamento do inóculo. Para os métodos físicos, destacam-se o choque térmico, aeração e congelamento-descongelamento (Al-Haddad *et al.*, 2023; Albuquerque *et al.*, 2024). Os métodos químicos incluem, choque ácido, choque básico, inibidores de crescimento de microrganismos consumidores de H₂, como ácido 2-bromoetano sulfônico, iodopropano, clorofórmio, ácido linoleico ou acetileno (Albuquerque *et al.*, 2024). Ainda, o pré-tratamento combinado como, por exemplo, combinação de choque térmico e básico (Al-Haddad *et al.*, 2023).

A análise dos artigos selecionados, conforme apresentado na Tabela 1, evidenciou que o pré-tratamento do inóculo é uma etapa essencial para o sucesso da fermentação escura para a produção de hidrogênio, uma vez que, permite a inativação de microrganismos consumidores de hidrogênio, como as bactérias metanogênicas, o que propicia a predominância de bactérias fermentativas produtoras de H₂, principalmente do gênero *Clostridium*.

De acordo com Al-Haddad *et al.* (2023), o lodo proveniente de biorreatores anaeróbios submetido a choque térmico a 115 °C por 20 minutos foi o tratamento mais eficaz, atingindo 191,8 mL H₂ gSTV⁻¹ (sólidos totais voláteis) adicionado e uma eficiência de conversão de 30,7%. Esse método promoveu uma inibição prolongada de bactérias metanogênicas, gerando uma produção mais estável de hidrogênio. Em comparação, ao choque ácido (pH 3) e choque básico (pH 10), os quais apresentaram eficiências semelhantes de 27,4% e 27,6%, respectivamente, com rendimentos entre 154 e 157 mL H₂ gSTV⁻¹.



Tabela 1 - Produção de hidrogênio com pré-tratamento do inóculo, segundo diversas referências da literatura

Referência	Inóculo de estação de tratamento de esgoto (ETE)	Pré-tratamento	pH de início	Produção de hidrogênio (%)
Al-Haddad <i>et al.</i> (2023)	Digestato de biorreator anaeróbio	Choque térmico	-	30,70
Al-Haddad <i>et al.</i> (2023)	Digestato de biorreator anaeróbio	Choque ácido	3	27,40
Al-Haddad <i>et al.</i> (2023)	Digestato de biorreator anaeróbio	Choque básico	10	27,60
Wang e Wan (2008)	Lodo digerido	Choque térmico	7	44,50
Wang e Wan (2008)	Lodo digerido	Choque ácido	3	20,00
Wang e Wan (2008)	Lodo digerido	Choque básico	10	27,20
Wang e Wan (2008)	Lodo digerido	Aeração	-	21,30
Wang; Wan (2008)	Lodo digerido	Clorofórmio	-	17,10
Oh, Van Ginkel e Logan (2003)	Lodo desidratado de biorreator anaeróbio	Choque térmico	6,2 e 7,5	24,20

Nota: (-) dado não informado pelos autores.

Fonte: Autores (2025).

Resultados semelhantes foram relatados por Wang e Wan (2008), que utilizaram lodo digerido de estações de tratamento de esgoto submetido a diferentes pré-tratamentos. O choque térmico a 100 °C por 15 minutos apresentou o melhor desempenho, com rendimento de 221,5 mL H₂ g⁻¹ glicose e conversão de 44,5%, confirmando a eficácia do calor como agente seletivo de bactérias esporuladas, como as do gênero *Clostridium*. O choque básico (pH 10) e o choque ácido (pH 3) também melhoraram a produção de hidrogênio em relação ao controle, com rendimentos de 27,2% e 20%, respectivamente, mas favoreceram vias fermentativas distintas como etanol/acética e mista, que reduzem a pureza do biogás produzido.

Por outro lado, pré-tratamentos alternativos como aeração e uso de clorofórmio demonstraram resultados inferiores. A oxigenação promoveu a eliminação de microrganismos anaeróbios obrigatórios, resultando em 21,3% de eficiência de conversão, enquanto o clorofórmio apresentou o menor rendimento (17,1%), provavelmente devido à inibição direta de bactérias produtoras de H₂ (Wang; Wan, 2008).

De forma complementar, Oh Van Ginkel e Logan (2003), demonstraram que o choque térmico em lodo desidratado (104 °C por 2 h) eliminou a produção de metano e gerou 24,2% de eficiência de conversão, sendo mais eficaz em pH 6,2 em relação ao pH 7,0. Esse resultado reforça que o controle do pH inicial é um fator determinante, visto que condições mais ácidas favorecem a rota butírica, associada à maior geração de H₂.



Considerações finais

Os estudos analisados corroboraram que o choque térmico foi o método de pré-tratamento mais eficiente para enriquecimento de consórcios produtores de hidrogênio, pois inibiu os microrganismos metanogênicos e favoreceu o predomínio de *Clostridium*. Por outro lado, os tratamentos ácido e básico, embora também promovam seletividade microbiana, demandam controle rigoroso de pH e apresentaram menor estabilidade em longo prazo.

A escolha do pré-tratamento deve considerar não apenas o aumento na produção de H₂, mas também a manutenção da atividade fermentativa e a composição microbiana do sistema, aspectos essenciais para o aprimoramento da fermentação escura em escala aplicada. Ainda, para escolha e aplicação dos métodos de pré-tratamento devem considerar critérios como simplicidade, (métodos comumente utilizados), acesso prático a reagentes e equipamentos, bem como potencial de escalonamento.

Referências

- ALBUQUERQUE, M. M. *et al.* Biohydrogen produced via dark fermentation: A review. **Methane**, v. 3, n. 3, p. 500–532, 2024.
- AL-HADDAD, S. *et al.* Assessing different inoculum treatments for improved production of hydrogen through dark fermentation. **Energies**, v. 16, n. 3, 2023.
- MOKHTARANI, B.; ZANGANEH, J.; MOGHTADERI, B. A review on biohydrogen production through dark fermentation, process parameters and simulation. **Energies**, v. 18, n. 1092, 2025
- OH, S. E.; VAN GINKEL, S.; LOGAN, B. E. The Relative Effectiveness of pH Control and Heat Treatment for Enhancing Biohydrogen Gas Production. **Environmental Science and Technology**, v. 37, n. 22, p. 5186–5190, 2003.
- SINGH, H. *et al.* Recent advances in biomass pretreatment technologies for biohydrogen production. **Energies**, v. 19, n. 999, 2022
- TIAN, L.; PAN, L.; WANG, L. Effect of inoculum pretreatment and substrate/inoculum ratio on acidogenic fermentation of chemically enhanced primary treatment sludge. **Sustainability (Switzerland)**, v. 16, n. 8, 2024.
- WANG, J.; WAN, W. Comparison of different pretreatment methods for enriching hydrogen-producing bacteria from digested sludge. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 33, n. 12, p. 2934–2941, 2008.



AVALIAÇÃO DO POTENCIAL FOTOSSENSIBILIZADOR DA ASTAXANTINA PROVENIENTE DE *Haematococcus pluvialis* EM SISTEMAS DE CÉLULAS SOLARES SENSIBILIZADAS POR CORANTES

Maria Cristina Souza¹

Everson do Prado Banczek¹

Cynthia Beatriz Furstenberger¹

¹ Universidade Estadual do Centro-Oeste

Palavras-chave

Biotecnologia, corantes naturais, dispositivos fotovoltaicos, microalgas, pigmentos.

Resumo

Este trabalho realizou uma análise comparativa, com base em dados recentes da literatura, de trabalhos que avaliaram o desempenho de células solares sensibilizadas por corantes, utilizando astaxantina de diversas origens e purezas, destacando-se a microalga *Haematococcus pluvialis* como uma das fontes principais. Os resultados evidenciam que um extrato purificado de astaxantina obtido a partir de *H. pluvialis*, apresenta os melhores resultados em relação às demais fontes estudadas. Houveram também estudos de co-sensibilização com antocianina, que demonstrou grandes ganhos nos desempenhos fotovoltaicos, devido ao potencial antioxidante da astaxantina. Dessa forma, *H. pluvialis* se consolida como uma fonte promissora para obtenção de astaxantina voltada a aplicações energéticas, embora ainda existam poucos estudos sobre a utilização desse corante para essa finalidade, os resultados são encorajadores para que novas pesquisas sejam desenvolvidas e aprimoradas.

Introdução

Dentre as diversas fontes de energia, a energia solar vem se destacando, pois está amplamente disponível em quase todas as regiões do planeta (Agnaldo et al, 2006), é considerada limpa e gratuita, e é uma opção viável para promover o desenvolvimento sustentável (Orona-Navar, 2017).

As células solares sensibilizadas por corante (CSSCs), surgem como uma boa alternativa na tecnologia fotovoltaica, uma vez que, ao utilizar corantes naturais como sensibilizadores, proporcionam menor custo, facilidade de produção e riscos mínimos, sendo assim mais acessíveis, biocompatíveis, abundantes e sustentáveis, do que os sintéticos (Teja et al, 2023). Estes tipos de pigmentos são encontrados em muitos vegetais superiores (Shalini et al., 2015), no entanto, fontes alternativas como cianobactérias e microalgas têm sido pouco exploradas, embora mostrem resultados promissores (Orona-Navar et al., 2017; Fabris et al., 2020).

Haematococcus pluvialis é uma microalga, que sob condições naturais de crescimento, são ricas em clorofila e β -caroteno, que conferem coloração verde às suas células, entretanto, quando submetidas a condições de estresse, essas microalgas acumulam astaxantina, um carotenoide secundário, que apresenta a coloração vermelho-alaranjado (Orona-Navar et al. 2017, Tropea et al. 2025), que é



amplamente aplicado nas indústrias de alimentos, cosméticos, farmacêuticas, entre outras, apesar de poucos estudos, este corante tem potencial de destaque em outros setores industriais, inclusive o setor de energia, como fotossensibilizador em CSSCs (Tropea et al. 2025),

Com base nesse contexto, o objetivo deste trabalho é analisar e comparar, a partir dos poucos estudos experimentais disponíveis na literatura, os potenciais fotovoltaicos de células solares sensibilizadas por astaxantina extraída de *H. pluvialis*, com as obtidas de outras origens e graus de pureza, e destacar as perspectivas para a aplicação desses pigmentos naturais em CSSCs.

Material e métodos

Este trabalho foi realizado a partir da busca de dados disponíveis na literatura, onde foram encontrados três estudos relevantes e recentes (Orona-Navar et al. (2017), Tropea et al. (2025) e Prabavathy et al. (2021)), que utilizaram a astaxantina obtida a partir de *H. pluvialis* e compararam seu desempenho em CSSCs com astaxantina de outras fontes: a extraída da levedura *Phaffia rhodozyma*, outra de origem comercial e também com um sistema no qual o corante foi aprimorado por meio da combinação com antocianina. Posteriormente, foram extraídos e organizados os principais parâmetros fotovoltaicos reportados pelos três trabalhos (eficiência de conversão, corrente de curto-circuito, tensão de circuito aberto, fator de preenchimento e estabilidade).

Resultados e Discussão

Estudos recentes encontrados buscam explorar experimentalmente o potencial da astaxantina como corante para melhorar a eficiência e durabilidade de CSSCs, destacando, entre eles, os trabalhos de Orona-Navar et al. (2017), Tropea et al. (2025) e Prabavathy et al. (2021).

Orona-Navar et al. (2017), produziu um extrato bruto de astaxantina e submeteu a purificação, via cromatografia, resultando no “PPE” (primary purified extract), este foi comparado com astaxantina padrão comercial (AS). Tropea et al. (2025), também utilizou a levedura *Phaffia rhodozyma* para sintetizar a astaxantina, a fim de comparar qual seria a melhor fonte microbiana para obtenção e aplicação do corante em CSSCs. Prabavathy et al. (2021) exploram a capacidade antioxidante de astaxantina extraída de *H. pluvialis*, utilizando-a como um cosensibilizador de antocianina em CSSCs.

Nenhum dos três estudos especifica as condições ambientais utilizadas para o cultivo de *H. pluvialis*, mas ambos citam que este foi submetido a duas fases de crescimento, sendo a primeira vegetativa, e a segunda submetendo a condições de estresse, para que ocorra a síntese da astaxantina. Os três autores utilizaram acetona para extração do corante, os eletrodos sensibilizados foram com TiO_2 como semicondutor, além de que os três utilizaram a condição padronizada de iluminação simulada de AM 1,5, 100 mW/cm^2 , para os seguintes testes de eficiência fotovoltaica: Tensão de circuito aberto (Voc), Corrente de curto-circuito (Jsc), Fator de preenchimento (FF) Eficiência de conversão (η). Esses pontos em comum, garantem a comparabilidade direta dos resultados, que estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Resultados experimentais de desempenho fotovoltaico para células solares sensibilizadas por corantes, conforme diferentes fontes de extração de astaxantina, obtidos pelo três estudos.



Autor	Fonte corante	Eficiência (%)	Jsc (mA/cm ²)	Voc (V)	(FF)
Orona-Navar et al. (2017)	<i>Haematococcus pluvialis</i> (purificado)	0,10	0,313	0,449	0,72
Orona-Navar et al. (2017)	Astaxantina comercial	0,036	0,119	0,431	0,68
Tropea et al. (2025)	<i>Haematococcus pluvialis</i> (não purificado)	0,11	0,34	0,41	0,73
Tropea et al. (2025)	<i>Phaffia rhodozyma</i>	0,06	0,19	0,39	0,69
Prabavathy et al(2021)	Antocianina pura	0,67	1,61	0,64	0,65
Prabavathy et al(2021)	Antocianina + astaxantina	1,13	2,10	0,69	0,68

* Tensão de circuito aberto (Voc), Corrente de curto-circuito (Jsc), Fator de preenchimento (FF).

Fonte: Adaptado de: Orona-Navar et al. (2017); Tropea et al. (2025); Prabavathy et al. (2021)

Observa-se diferenças nos corantes analisados pelos estudos, a astaxantina de *H. pluvialis* com extrato purificado apresenta melhores desempenhos que as demais fontes, tanto pela eficiência como também por oferecer fator de preenchimento consistente e bom equilíbrio entre corrente e tensão. Apesar do extrato não purificado não apresentar os melhores resultados, é possível confirmar que mesmo assim a astaxantina de *H. pluvialis* pode ser muito eficiente entre os pigmentos naturais.

A astaxantina de *P. rhodozyma* reforça que a origem do pigmento influencia no desempenho do corante, uma vez que apresenta os menores desempenhos, indicando limitações em sua aplicação em CSSCs, enquanto o extrato comercial também não supera os resultados da versão purificada ou da co-sensibilização, evidenciando que o extrato cultivado pode ser tão eficiente quanto o comercial.

Os dados demonstram também que a adição de astaxantina como aditivo antioxidante melhora todos os parâmetros fotovoltaicos em relação a antocianina pura, uma vez que protege contra a manipulação fotoquímica, preservando sua capacidade de transferência de elétrons e consequentemente o desempenho fotovoltaico. Esses ganhos se refletem especialmente na corrente de curto-circuito, mas também em voc e ff, mostrando que a mistura atinge um perfil de desempenho superior ao dos corantes individuais.

Fica evidente que origem e combinação de corantes se mostram cruciais para otimizar todos os parâmetros elétricos avaliados e avançar no desenvolvimento de células solares naturais.

Considerações finais



A astaxantina microbiana possui grande potencial como corante fotossensibilizador em CSSCs, observa-se que seu uso como pigmento puro ou em co-sensibilização melhoram o desempenho fotovoltaico. *H. pluvialis* destaca-se como fonte promissora para obtenção desse pigmento devido à sua alta capacidade de biossíntese. Os resultados indicam que a origem e o grau de pureza do corante influenciam diretamente na eficiência fotovoltaica, ressaltando a necessidade de novos estudos buscando o aprimoramento da conversão energética em CSSCs.

Agradecimentos

Aos órgãos financiadores, SETI e Fundação Araucária, também a CAPES e a UNICENTRO.

Referências

- AGNALDO, J. S.; BASTOS, J. B. V.; CRESSONI, J. C.; VISWANATHAN, G. Células solares de TiO₂ sensibilizado por corante. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, 2006.
- FABRIS, M.; ABBRIANO, R. M.; PERNICE, M.; SUTHERLAND, D. L.; COMMAULT, A. S.; HALL, C. C.; LABEEUW, L.; MCCAULEY, J. I.; KUZHIUPARAMBIL, U.; RAY, P.; KAHLKE, T.; RALPH, P. J. Emerging technologies in algal biotechnology: toward the establishment of a sustainable, algae-based bioeconomy. *Frontiers in Plant Science*, [S.l.], v. 11, 16 mar. 2020. **Seção: Plant Biotechnology**.
- ORONA-NAVAR, A.; AGUILAR-HERNÁNDEZ, I.; CERDÁN-PASARÁN, A.; LÓPEZ-LUKE, T.; RODRÍGUEZ-DELGADO, M.; CÁRDENAS-CHÁVEZ, D. L.; CEPEDA-PÉREZ, E.; ORNELAS-SOTO, N. Astaxanthin from *Haematococcus pluvialis* as a natural photosensitizer for dye-sensitized solar cell. **Algal Research**, Amsterdam, vol. 26, p. 15-24, 2017.
- PRABAVATHY, N.; BALASUNDARAPRABHU, R.; KRISTOFFERSEN, A. S.; BALAJI, G.; PRASANNA, S.; SIVAKUMARAN, K.; KANNAN, M. D.; ERGA, S. R.; VELAUTHAPILLAI, D. Enhanced photostability of anthocyanin dye for increased efficiency in natural dye sensitized solar cells. **Optik**, vol. 227, p. 166053, 2021.
- SHALINI, S.; BALASUNDARA PRABHU, R.; PRASANNA, S.; MALLICK, T. K.; SENTHILARASU, S. Review on natural dye sensitized solar cells: operation, materials and methods. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 51, p. 1306-1325, 2015.
- TEJA, A. S.; SRIVASTAVA, A.; SATRUGHNA, J. A. K.; TIWARI, M. K.; KANWADE, A.; YADAV, S. C.; SHIRAGE, P. M. Optimal processing methodology for futuristic natural dye-sensitized solar cells and novel applications. **Dyes and Pigments**, v. 210, p. 110997, 2023.
- TROPEA, A.; CALABRÒ, E.; GIUFFRÈ, A. M.; DALLI CARDILLO, A.; MUSARRA, G.; PUGLISI, V.; MONDELLO, L. The influence of microbial sources on astaxanthin implementation as sensitizer in dye sensitized solar cells (DSSCs). **Journal of Photochemistry & Photobiology, A: Chemistry**, vol. 446, p. 115012, 2025.



APLICAÇÕES DE PRÉ-TRATAMENTOS EM RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS VISANDO SUA VALORAÇÃO ENERGÉTICA

MSc. Marcelo Adriano Ginko¹

Professor Dr. Waldir Nagel Schirmer¹

¹Universidade Estadual do Centro-Oeste

Palavras-chave

Biogás, Metano, Hidrogênio, palhada agrícola

Resumo

A biomassa lignocelulósica, amplamente disponível como resíduo das atividades agrícolas, representa uma fonte promissora para a produção de energia renovável. No entanto, a elevada recalcitrância estrutural desses materiais, decorrente da presença de lignina, limita sua biodegradabilidade e conversão eficiente em biocombustíveis. O presente estudo tem como objetivo avaliar a aplicação de diferentes rotas de pré-tratamento — físicas, químicas e biológicas — em resíduos agrícolas, especialmente palhadas, visando aumentar sua digestibilidade e maximizar a produção de biogás, com ênfase nos teores de metano (CH₄) e hidrogênio (H₂). Os ensaios serão conduzidos em biodigestores de batelada, monitorando-se parâmetros físico-químicos (pH, DQO, sólidos voláteis) e a composição dos gases gerados. A combinação de pré-tratamentos é esperada para promover a remoção parcial da lignina, expondo as frações de celulose e hemicelulose e favorecendo a conversão microbiana durante a digestão anaeróbia. Os pré-tratamentos biológicos, utilizando consórcios microbianos provenientes do rúmen bovino, devem apresentar destaque por sua seletividade e menor impacto ambiental, contribuindo para a produção de biogás com maiores rendimentos energéticos. Espera-se alcançar eficiências superiores a 300 mL·gSV⁻¹ de biogás, com teores de CH₄ acima de 55%, demonstrando a viabilidade técnica da valorização energética de resíduos agrícolas. Os resultados contribuirão para o avanço de tecnologias aplicadas a biorrefinarias e para o fortalecimento da matriz energética sustentável no Brasil.

Introdução

O Brasil possui uma vasta área dedicada à agricultura e se destaca como um dos maiores produtores de biomassa em nível global (CONAB, 2023). Essa biomassa pode ser aproveitada como fonte de energia renovável, especialmente diante da crescente necessidade de substituir os combustíveis fósseis, como o petróleo, por alternativas mais sustentáveis. Nesse cenário, políticas públicas vêm sendo desenvolvidas para promover a inserção dos biocombustíveis na matriz energética nacional, visando tanto a redução de emissões poluentes quanto o estímulo ao desenvolvimento econômico. O etanol de segunda geração, por exemplo, é obtido a partir da biomassa lignocelulósica, com ênfase nos resíduos provenientes da agroindústria, que podem ser processados em biorrefinarias para garantir o aproveitamento integral da biomassa. No entanto, a viabilidade desse processo em escala industrial ainda depende de avanços científicos e tecnológicos (CHANDEL et al., 2021).



Um dos principais desafios enfrentados pela agroindústria refere-se ao grande volume de resíduos gerados durante o processamento das matérias-primas, muitos dos quais acabam permanecendo nos campos, acumulando-se no ambiente. Esse acúmulo pode comprometer a absorção de nutrientes pelo solo e representar risco de poluição do solo e dos recursos hídricos.

Apesar de, em alguns casos, essa biomassa ser queimada para gerar energia, essa prática limita o aproveitamento econômico de materiais com grande potencial para aplicações em biotecnologia, como na produção de biocombustíveis e compostos químicos. Diante disso, a valorização de resíduos como o bagaço e a palha da cana-de-açúcar, bem como a palha e o sabugo do milho, surge como uma alternativa estratégica para ampliar a participação das fontes renováveis na matriz energética e mitigar impactos ambientais como o desmatamento e a expansão de novas fronteiras agrícolas (BAËTA et al., 2016).

A biomassa lignocelulósica refere-se a materiais de origem vegetal compostos principalmente por celulose, hemiceluloses e lignina. As matérias-primas lignocelulósicas podem ser obtidas a partir de diversos setores, como o agrícola, florestal, industrial e urbano. Os resíduos provenientes das atividades agrícolas e florestais se destacam por seu elevado potencial na geração de produtos e processos com maior valor agregado, sobretudo em países em desenvolvimento, devido à ampla disponibilidade e ao baixo custo relativo desses materiais. Contudo, o uso convencional desses resíduos tem se limitado à queima direta, prática que contribui para a degradação ambiental, incluindo processos de empobrecimento do solo, desertificação e emissão de gases poluentes (CAI et al., 2017).

A produção de biogás ocorre através da digestão anaeróbia é um processo biológico que converte matéria orgânica em produtos gasosos, composto principalmente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). Esse processo é amplamente utilizado para o tratamento de resíduos orgânicos e produção de energia renovável. No entanto, a eficiência da digestão anaeróbia também é limitada pela presença de lignina, que dificulta a degradação da biomassa lignocelulósica (CAI et al., 2021).

A estrutura altamente complexa da biomassa lignocelulósica representa uma barreira significativa à sua conversão eficiente, dificultando a degradação dos polímeros estruturais e comprometendo a eficácia da sacarificação. Para contornar essa limitação, torna-se essencial a aplicação de etapas de pré-tratamento, as quais podem ser classificadas em físicas, químicas ou biológicas, com o objetivo de tornar a biomassa mais acessível aos processos subsequentes (MANKAR et al., 2021).

Material e métodos

O estudo será conduzido com o objetivo de avaliar diferentes rotas e combinações de pré-tratamentos — físicos, químicos e biológicos — aplicados à biomassa lignocelulósica de origem agrícola (palhada), visando à maximização da produção de biogás. Os ensaios serão realizados em biodigestores de batelada. Cada condição experimental será realizada em triplicata para garantir a reprodutibilidade dos dados.

Durante os experimentos, serão monitorados diariamente a produção de biogás e a composição dos gases gerados (Hidrogênio e Matano) além de parâmetros físico-químicos relevantes, como pH, demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos voláteis. Esses dados permitirão comparar a eficiência das diferentes abordagens.



A análise estatística será conduzida com base em testes de normalidade (como Shapiro- Wilk). Caso os dados apresentem distribuição normal, será aplicada a análise de variância (ANOVA), seguida do teste de Tukey. Para dados não paramétricos, serão utilizados os testes de Kruskal-Wallis e Dunn. Também serão avaliadas correlações entre variáveis por meio dos coeficientes de Pearson ou Spearman, conforme a distribuição dos dados. Modelos de regressão **poderão ser utilizados para avaliar o comportamento da produção de biogás ao longo do tempo**. As análises estatísticas serão realizadas com o auxílio dos softwares R ou SPSS.

Resultados esperados

Espera-se que a aplicação combinada de diferentes rotas de pré-tratamento — físicas, químicas e biológicas — aos resíduos agrícolas lignocelulósicos resulte em melhorias significativas na conversão desses materiais em biocombustíveis, especialmente metano e hidrogênio. Tais melhorias serão verificadas pelo aumento da produção de gases energéticos, durante os processos de digestão anaeróbia.

Os pré-tratamentos biológicos, utilizando consórcios microbianos oriundos do rúmen bovino, bem como fungos filamentosos produtores de enzimas ligninolíticas, devem apresentar potencial relevante na degradação seletiva da lignina, com impactos positivos na digestibilidade da biomassa residual. A atuação dessas comunidades microbianas deve favorecer o aumento da biodisponibilidade da celulose e hemicelulose remanescentes, promovendo maior geração de substratos conversíveis em energia. É esperado que o material submetido à digestão anaeróbia produza quantidades significativas de H₂ na fase inicial (acidogênese) e CH₄ na etapa posterior (metanogênese). A geração de hidrogênio será favorecida por substratos ricos em carboidratos de fácil acesso, enquanto a produção de metano dependerá da estabilidade do sistema, refletida em parâmetros como pH, DQO removida e concentração de sólidos voláteis.

Assim, espera-se alcançar, com determinadas rotas, produções superiores a 300 mL.gSV⁻¹ de biogás, com teores de metano superiores a 55%, e rendimentos de etanol próximos a 0,45 g.g⁻¹ de glicose consumida, valores compatíveis com os observados em sistemas otimizados na literatura.

A geração desse conhecimento poderá contribuir para o avanço tecnológico de biorrefinarias voltadas à valorização de resíduos agrícolas, promovendo a transição para uma matriz energética mais limpa e sustentável.

Agradecimentos

O autor deixa os agradecimentos ao Professor Dr. Waldir Nagel Schirmer, pela orientação que está sendo prestada no andamento do projeto, assim como, à UNICENTRO e aos demais professores e instituições participantes do Programa de Pós-Graduação em Bioenergia.

Deixo também meu agradecimento ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação Araucária pelo apoio financeiro ao projeto de pesquisa.

Referências



BAÊTA, B. E. L. et al. Evaluation of hydrogen and methane production from sugarcane bagasse hemicellulose hydrolysates by two-stage anaerobic digestion process. *Bioresource Technology*, v. 218, p. 436–446, 2016.

CAI, J. et al. Review of physicochemical properties and analytical characterization of lignocellulosic biomass. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [S.L.], v. 76, p. 309- 322, 2017.

CHANDEL, Anuj K.; ANTUNES, Felipe A.F.; TERÁN-HILARES, Ruly; COTA, Junio; ELLILÄ, Simo; SILVEIRA, Marcos H.L.; SANTOS, Júlio C. dos; SILVA, Silvio S. da. Bioconversion of Hemicellulose Into Ethanol and Value-Added Products. *Advances In Sugarcane Biorefinery*, [S.L.], p. 97-134, 2018.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da Safra Brasileira de Cana-de-Açúcar. 1o Levantamento Safra 2023/2024. Abril, 2023.

ELIAS, A. M. et al. Retro-techno-economic-environmental analysis improves the operation efficiency of 1G-2G bioethanol and bioelectricity facilities. *Applied Energy*, v. 282, Part A, n. 116133, 2021.

FERNANDES, E. S. et al. Minor Biomass Particle Size for an Efficient Cellulose Accessibility and Enzymatic Hydrolysis. *ChemistrySelect*, v. 5, n. 25, 2020.

GUNDUPALLI, M. P.; SRIARIYANUN, M. Recent Trends and Updates for Chemical Pretreatment of lignocellulosic biomass. *Applied Science and Engineering Process*, v. 16, n. 1, 5842, 2023.

MANKAR, A. R. et al. Pretreatment of lignocellulosic biomass: A review on recent advances. *Bioresource Technology*, v. 334, n. 125235, 2021.

SINDHU, R.; BINOD, P.; PANDEY, A. Biological pretreatment of lignocellulosic biomass – An overview. *Bioresource Technology*, v. 199, p. 76-82, 2016.

ZHAO, L. et al. Advances in pretreatment of lignocellulosic biomass for bioenergy production: Challenges and perspectives. *Bioresource Technology*, v. 343, n. 126123, 2022.



AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DE SISTEMAS HÍBRIDOS SOLAR-EÓLICOS NA QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO

Milena Macoris Oliveira¹

Glaucio Pedro de Alcantara¹

Daniel Tait Vareschini¹

¹ Universidade Estadual de Maringá

Palavras-chave: sistemas híbridos, integração de energias renováveis, qualidade de energia elétrica, fluxo de potência, ANAREDE.

Resumo

A busca por soluções sustentáveis no setor elétrico brasileiro tem impulsionado o crescimento da geração distribuída a partir de fontes renováveis. Entre essas fontes, a energia solar fotovoltaica e a energia eólica apresentam papel de destaque, embora tragam consigo desafios técnicos associados à intermitência e à variabilidade. Nesse contexto, os sistemas híbridos surgem como alternativa promissora, capazes de explorar a complementaridade temporal e sazonal entre as fontes e, assim, contribuir para a estabilidade e a qualidade da energia elétrica. O objetivo deste trabalho é avaliar os impactos da inserção de sistemas híbridos solar-eólicos em redes de distribuição, utilizando simulações computacionais como principal ferramenta de análise. As análises foram conduzidas por meio do software ANAREDE, voltado ao cálculo de fluxos de potência e avaliação da estabilidade de tensão. Os resultados obtidos indicam que o sistema híbrido apresenta desempenho superior aos arranjos isolados, com tensões dentro dos limites do Módulo 8 do PRODIST, redução de perdas e menor risco de sobretensão.

Introdução

O setor elétrico brasileiro passou a enfrentar novos desafios a partir dos anos 2000, quando a crise energética de 2001 expôs a vulnerabilidade de um sistema dependente da geração hidrelétrica. A partir desse cenário, políticas públicas e marcos regulatórios passaram a estimular a diversificação da matriz elétrica, notadamente por meio do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas (PROINFA) e da Resolução Normativa nº 482/2012 da ANEEL, que viabilizou a micro e minigeração distribuída (SOBRAL et al., 2024).

Apesar do avanço regulatório e tecnológico, a inserção de fontes intermitentes pode comprometer a estabilidade de tensão e frequência das redes, além de impactar a qualidade de energia elétrica (ROY et al., 2022). Diante disso, os sistemas híbridos solar-eólicos surgem como alternativa relevante, pois permitem explorar a complementaridade entre recursos energéticos e reduzir a necessidade de ações corretivas por parte das concessionárias (DRANKA; FERREIRA, 2020).

Materiais e Métodos



As simulações foram realizadas em uma rede de nove barras, com tensão de 69 kV na barra de suprimento e 13,8 kV nas barras de carga, interligadas por um transformador com TAP nominal de 0,971. O sistema base foi modelado no software ANAREDE, com potência base de 100 MVA.

- Foram analisados quatro cenários distintos:
- (i) sistema sem geração distribuída (caso base);
 - (ii) sistema com geração fotovoltaica (30 MW na barra 5, fator de potência unitário);
 - (iii) sistema com geração eólica (30 MW na barra 6, fator de potência 0,98 indutivo, $Q=+6,09$ Mvar);
 - (iv) sistema híbrido solar-eólico (20 MW PV na barra 5 e 20 MW, 4,07 Mvar eólicos na barra 6).

Os resultados foram comparados com os limites de conformidade do Módulo 8 do PRODIST (ANEEL, 2021), que estabelece faixa de tensão admissível entre 0,95 e 1,05 pu em regime permanente. As análises de curto-circuito previstas para o software ANAFAS serão apresentadas em etapas posteriores da pesquisa.

Resultados e Discussão

O sistema de referência apresentou tensões entre 0,956 e 1,00 pu, situando-se no limite inferior do PRODIST e evidenciando a necessidade de suporte reativo. No cenário fotovoltaico, observou-se redução da potência ativa proveniente da subestação, mas também a ocorrência de fluxos reversos e sobretensão local (1,06 pu) nas barras mais próximas à geração.

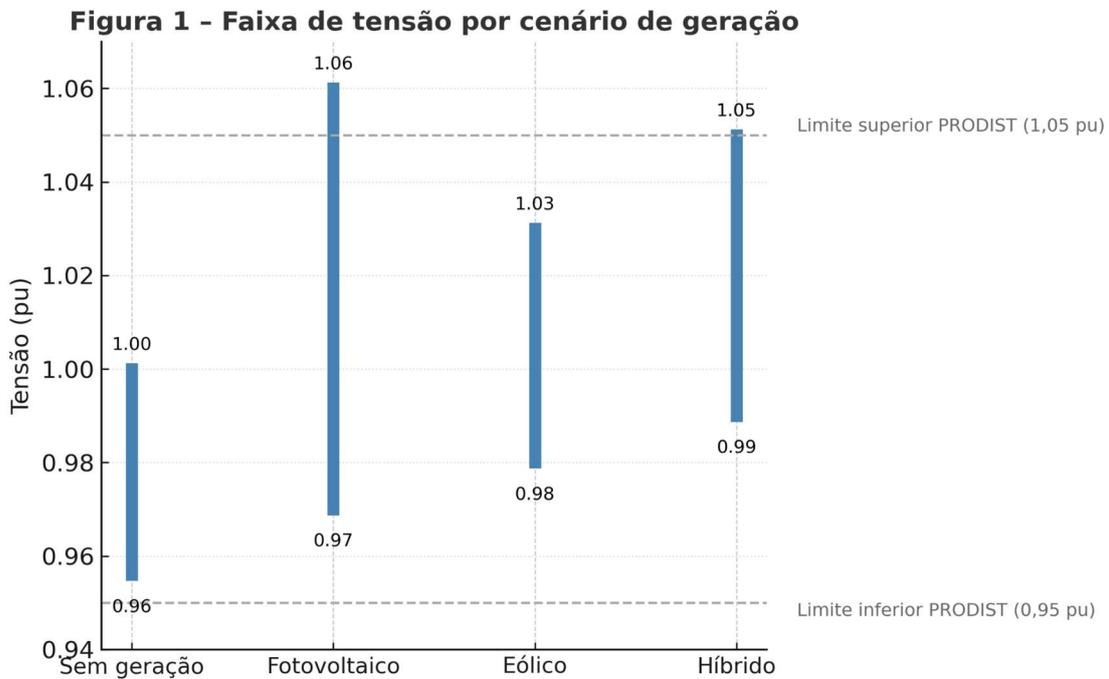
No cenário eólico, a injeção reativa contribuiu para o controle de tensão, mantendo o perfil entre 1,00 e 1,03 pu, com perdas menores e fator de potência global mais equilibrado. Já no sistema híbrido, a presença de geração eólica mitigou as sobretensões provocadas pela solar, resultando em faixa de tensão entre 0,99 e 1,05 pu — totalmente conforme ao PRODIST — e com menor perda de potência ativa entre todos os casos analisados.

Tabela 1 – Comparativo dos resultados obtidos nos quatro cenários simulados.

Cenário	Faixa de tensão (pu)	Fluxo reverso	Perdas ativas	Observação técnica
Sem geração	0,956 – 1,00	Não	Alta	Tensões no limite inferior do PRODIST
Fotovoltaico	0,97 – 1,06	Sim	Baixas	Sobretensão local devido à ausência de Q
Eólico	0,98 – 1,03	Parcial	Baixas	Perfil de tensão mais estável
Híbrido	0,99 – 1,05	Sim, controlado	Mínimas	Melhor desempenho global

Fonte: Autora, com base nas simulações no software ANAREDE.

Figura 1 – Comparação das tensões mínimas e máximas obtidas em cada cenário.



Fonte: Autora (2025).

Os resultados demonstram que a geração fotovoltaica isolada e sem controle de potência reativa (Fator de Potência unitário) é mais propensa a gerar sobretensões locais, especialmente em redes de baixa carga, enquanto a geração eólica com o fator de potência em 0,98 apresenta melhor capacidade de regulação de tensão. A configuração híbrida solar-eólica combina os efeitos positivos de ambas, reduzindo perdas e mantendo a operação dentro dos limites do PRODIST, o que reforça sua viabilidade técnica para integração em redes de distribuição.

Considerações finais

Os resultados demonstram que a geração fotovoltaica isolada tende a provocar sobretensões locais, especialmente em condições de baixa carga, enquanto a geração eólica apresenta maior estabilidade de tensão devido à sua capacidade de controle reativo. O sistema híbrido solar-eólico mostrou-se o arranjo mais equilibrado, combinando redução de perdas, estabilidade operacional e conformidade integral com os limites do PRODIST.

Conclui-se que a integração híbrida é uma estratégia tecnicamente viável para redes de distribuição, representando uma solução promissora para a ampliação da participação de fontes renováveis no sistema elétrico brasileiro. Estudos futuros incluirão a análise de correntes de curto-circuito no ANAFAS, visando complementar a avaliação da proteção e da seletividade do sistema.



Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida para a realização desta pesquisa. E ao Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (Cepel) pela concessão das licenças estudantis à Universidade Estadual de Maringá.

Referências

- ALONSO, R.; GARCIA, J.; SILVA, M. Energia Solar: fundamentos e aplicações. Madrid: Elsevier, 2013.
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012. Brasília: ANEEL, 2012.
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 954, de 30 de novembro de 2021. Brasília: ANEEL, 2021.
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 956, de 7 de dezembro de 2021. Brasília: ANEEL, 2021.
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 1071, de 29 de agosto de 2023. Brasília: ANEEL, 2023.
- DRANKA, G. G.; FERREIRA, P. Impact of energy transition on the electricity sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Amsterdam, v. 134, p. 110–118, 2020.
- GREEN, M. A. et al. Solar cell efficiency tables (Version 63). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, Chichester, v. 31, n. 1, p. 3–12, 2023.
- PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos. Rio de Janeiro: CEPEL/CRESEB, 2014.
- ROY, B.; DAS, A.; SARKAR, S. Hybrid renewable energy systems: A review on their feasibility and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Amsterdam, v. 158, p. 112–143, 2022.
- SOBRAL, M. R.; CASTRO, R. L.; TIBA, C. Usinas híbridas no Brasil: avanços regulatórios e desafios de integração. *Revista Brasileira de Energia*, Rio de Janeiro, v. 30, n. 2, p. 45–67, 2024.
- VILLALVA, M. G. Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações. São Paulo: Érica, 2015.



ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA-FINANCEIRA DE DIFERENTES METODOS DE REFINO DE BIOMETANO PARA DIFERENTES VAZÕES

Alisson Weber Javorski¹

Prof. Dra. Simone Damasceno Gomes¹

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná

Palavras-chave

Biogás, PSA, Membranas, Water Scrubbing.

Resumo

O crescimento populacional e a urbanização intensificam a busca por fontes renováveis de energia, alinhadas à economia circular, em um contexto de mudanças climáticas e esgotamento de combustíveis fósseis (ABIOGÁS, 2020). O biometano, obtido pelo refino do biogás, destaca-se como alternativa sustentável, com características próximas ao gás natural, permitindo sua integração a infraestruturas existentes (ABIOGÁS, 2021). No Brasil, a abundância de resíduos orgânicos posiciona o país como potencial líder global na produção de biometano, com benefícios ambientais, econômicos e sociais. Este estudo avalia a viabilidade técnico-financeira de três métodos de refino — Pressure Swing Adsorption (PSA), separação por membranas e Water Scrubbing — para vazões de 100 a 3000 Nm³/h, considerando normas da ANP. A análise abrange CAPEX e OPEX, com foco em eficiência na remoção de contaminantes, complexidade operacional e impacto ambiental. Resultados esperados indicam viabilidade econômica a partir de 500 Nm³/h, com PSA otimizando grandes escalas, membranas oferecendo escalabilidade e Water Scrubbing sendo viável em pequenas plantas. Simulações de sensibilidade ($\pm 20\%$ preço, $\pm 15\%$ energia) quantificam riscos, destacando o potencial do biometano na transição energética brasileira.

Introdução

O aumento exponencial do consumo global de energia e combustíveis, impulsionado pelo crescimento populacional, urbanização acelerada e industrialização, tem intensificado a busca por fontes renováveis que atendam às demandas energéticas de forma sustentável, em um contexto marcado por mudanças climáticas e o esgotamento progressivo de recursos fósseis. Essa realidade reforça a necessidade de práticas alinhadas à economia circular, que promovam a reutilização de resíduos e a redução de emissões de gases de efeito estufa, posicionando biocombustíveis como o biometano no centro das estratégias de transição energética. (ABIOGÁS, 2020) Produzido a partir do refino do biogás gerado pela decomposição anaeróbica de resíduos orgânicos como dejetos animais, vinhaça, resíduos agrícolas e lodo de esgoto, o biometano destaca-se por suas características físico-químicas semelhantes ao gás natural, permitindo sua integração a infraestruturas existentes, como gasodutos, e seu uso em aplicações veiculares, industriais e residenciais. (ABIOGÁS, 2021)



Pesquisas recentes (2021-2025) estimam que o Brasil possa produzir até 59 bilhões de m³ de biometano por ano, superando a produção de gás natural de 2022 (50,3 bilhões de m³), com estados como São Paulo, Minas Gerais e Goiás liderando esse potencial. Iniciativas como o RenovaBio e a Lei do Combustível do Futuro (Lei nº 14.993/2024) reforçam esse cenário, estabelecendo metas de mistura de biometano ao gás natural e incentivando a descarbonização via créditos de descarbonização (CBIOs). Apesar disso, desafios como infraestrutura limitada, custos elevados de refino e logística de transporte persistem, demandando inovações tecnológicas e parcerias público-privadas para viabilizar a escalabilidade. (EPE, 2025)

Diante desse contexto, este estudo tem como objetivos principais: (i) avaliar a viabilidade técnico-financeira dos métodos de refino Pressure Swing Adsorption (PSA), separação por membranas e Water Scrubbing para vazões de 100 a 3000 Nm³/h, considerando normas da ANP; (ii) comparar a eficiência na remoção de contaminantes (CO₂, H₂S, N₂) e os impactos operacionais e ambientais de cada tecnologia; e (iii) estimar indicadores financeiros como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback, com análise de sensibilidade a variações de preço e custos.

Material e métodos

A análise qualitativa comparará as tecnologias com base na eficiência de remoção de CO₂, H₂S, N₂ e O₂, na complexidade operacional, no impacto ambiental e na compatibilidade com gasodutos existentes, organizando os dados em uma matriz comparativa. A PSA é reconhecida por sua alta eficiência na remoção de CO₂ e H₂S, tornando-a ideal para plantas de média a grande escala, mas sua complexidade operacional exige maior investimento em equipamentos e manutenção. A separação por membranas oferece boa escalabilidade e menor impacto ambiental, mas a substituição periódica das membranas eleva o OPEX em longo prazo. O Water Scrubbing destaca-se pela simplicidade e baixo CAPEX, mas consome grandes quantidades de água e energia para regeneração do líquido absorvente, sendo menos eficiente em grandes escalas. Todos os métodos produzem biometano com pureza adequada às normas da ANP, garantindo sua integração às redes de gás.

A viabilidade financeira avaliará por meio de indicadores como Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e tempo de retorno de investimento (Payback), calculados com equações tradicionais: $VPL = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{F_c t}{(1+i)^n} - C_0$, Onde ($F_c t$) é o fluxo de caixa no ano (t), (i) é a taxa de desconto, (n) é o horizonte de análise (20 anos) e (C_0) é o investimento inicial, e TIR como a taxa que torna VPL = 0. Os cálculos serão realizados no Microsoft Excel, assumindo um preço de venda de R\$ 4,50/m³ para o biometano, refletindo valores de mercado praticados no Brasil em 2025. Uma análise de sensibilidade será conduzida utilizando simulações de Monte Carlo no software @Risk, considerando variações de ±20% no preço do biometano e ±15% nos custos de energia, permitindo quantificar os riscos associados a cada método.

Resultados e Discussão

Os resultados esperados deste estudo abrangem uma análise detalhada da viabilidade técnico-financeira dos três métodos de refino de biogás — Pressure Swing Adsorption (PSA), separação por



membranas e Water Scrubbing — aplicados a plantas com capacidades variando de 100 a 3000 Nm³/h, considerando o contexto regulatório e de mercado brasileiro em 2025. Especificamente, espera-se que o Water Scrubbing apresente o menor custo de investimento inicial (CAPEX), estimado entre R\$ 10 milhões e R\$ 15 milhões para plantas de 100 a 250 Nm³/h, devido à sua simplicidade operacional e menor exigência de equipamentos sofisticados. No entanto, esse método deve incorrer em custos operacionais (OPEX) elevados, impulsionados pelo consumo significativo de água e energia elétrica para a regeneração do líquido absorvente, tornando-o menos eficiente em escalas maiores.

Por outro lado, o PSA e a separação por membranas devem exigir CAPEX mais altos, refletindo a necessidade de compressores avançados, materiais de alta qualidade e sistemas de controle automatizados. O PSA é projetado para oferecer a maior eficiência na remoção de dióxido de carbono (CO₂) e sulfeto de hidrogênio (H₂S), alcançando purezas superiores a 96% de metano, sendo ideal para plantas de média a grande escala. Já as membranas devem se destacar pela escalabilidade e menor impacto ambiental, embora exijam substituições periódicas, elevando o OPEX a longo prazo. O Water Scrubbing, embora menos eficiente em grandes vazões, deve atender às normas da ANP (Resoluções nº 886/2022 e nº 906/2022), garantindo biometano compatível com gasodutos.

Na análise financeira, o Valor Presente Líquido (VPL) é esperado como positivo para plantas com capacidade igual ou superior a 500 Nm³/h, indicando viabilidade econômica em médio e longo prazos, com base em um preço de venda de R\$ 4,50/m³. A Taxa Interna de Retorno (TIR) deve ser mais elevada para o PSA em grandes escalas, potencialmente excedendo 10% ao ano, enquanto o Water Scrubbing pode atingir TIRs mais modestas, próximas de 5% a 7%, devido à economia de escala limitada. O tempo de retorno do investimento (Payback) deve variar entre 5 e 10 anos, com plantas de maior capacidade (1500-3000 Nm³/h) apresentando retornos mais rápidos, beneficiadas por economias de escala e maior produção.

A análise de sensibilidade, será realizada via simulações de Monte Carlo no software @Risk, indicará que variações de ±20% no preço do biometano terão um impacto mais significativo nos indicadores financeiros do que variações de ±15% nos custos de energia. O Water Scrubbing deve demonstrar maior robustez em cenários de preços instáveis, devido ao seu baixo CAPEX, enquanto o PSA e as membranas podem ser mais vulneráveis a oscilações energéticas. Gráficos projetados identificarão pontos de inflexão, sugerindo que o Water Scrubbing é mais vantajoso até 250 Nm³/h, enquanto o PSA se torna preferível acima de 1500 Nm³/h.

Considerações finais

Este estudo, ainda em fase de desenvolvimento, aponta para um elevado potencial técnico-econômico do biometano no Brasil, com capacidade de posicionar o país como protagonista global na transição energética sustentável. As análises preliminares indicam que o Water Scrubbing tende a ser a opção mais viável em escalas pequenas (100–250 Nm³/h), devido ao baixo CAPEX, enquanto o PSA se destaca em plantas maiores (1500–3000 Nm³/h), com maior eficiência na remoção de contaminantes e TIR potencialmente superior a 10%. A separação por membranas surge como alternativa intermediária, com boa escalabilidade e menor impacto ambiental, embora dependente de reposições periódicas.

As próximas etapas incluem validação com dados junto a especialistas, empresas produtoras das tecnologias e possíveis orçamentos referentes a estes materiais. Este trabalho em andamento busca gerar diretrizes práticas para investidores e políticas públicas, promovendo a economia circular, redução de emissões e segurança energética, com resultados consolidados previstos para 2026.



Agradecimentos

Agradeço à Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia, pela infraestrutura, recursos e ambiente acadêmico que tornaram possível este estudo; à minha orientadora Prof.^a Dra. Simone Damasceno Gomes, pela dedicação incansável, rigor científico e orientação precisa em todas as etapas; aos professores do colegiado, pelo conhecimento compartilhado e suporte formativo; e a todos os colegas do mestrado, pelas discussões enriquecedoras, colaboração mútua e contribuições diretas ao desenvolvimento do trabalho.

Referências

ABIOGÁS – Associação Brasileira do Biogás. Nota Técnica: Purificação do biogás. São Paulo: ABiogás, 2021. Disponível em: https://abiogas.org.br/wp-content/uploads/protectedfiles/6390e010fff0622dd8caa248_nota-tecnica-purificacao-biogas-vf.pdf. Acesso em: jul. 2025.

ABIOGÁS – Associação Brasileira do Biogás. Nota Técnica: O potencial brasileiro de biogás. São Paulo: ABiogás, 2020. Disponível em: <https://abiogas.org.br/wp-content/uploads/2020/11/NOTA-TECNICA_POTENCIAL_ABIOGAS.pdf>. Acesso em: Acesso em: jul. 2025.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). (2025). "Panorama do Biometano: Setor Sucoenergético." Disponível em: <https://www.epe.gov.br>.

OLIVEIRA, Lucas Silvestre Guedes; JORGE, Mariana Araújo. Processos industriais para limpeza e purificação de biogás. 2024.



OTIMIZAÇÃO DA DESIDRATAÇÃO DE MISTURAS COMBUSTÍVEIS COMPOSTAS POR ÓLEO FÚSEL-DIESEL B VIA PROCESSOS FÍSICOS DE SEPARAÇÃO

Bruno Fernando de Souza¹, Patrícia Louise da Silva Ferreira¹, Juliana Yukari Tamamoto¹, Guilherme Felipe Lenz¹, Rodrigo Sequinel¹

¹Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina

Palavras-chave

Hidrofobicidade, extração múltipla, peneira molecular 3A, centrifugação, refrigeração.

Resumo

Neste trabalho, efetuou-se a adição de óleo fúsel como bioaditivo ao óleo diesel B S500. Devido a parcela aquosa presente no óleo fúsel não ser miscível com o diesel, gerando microemulsões, adotou-se a aplicação de processos físicos para seu tratamento. Para isso, efetuaram-se misturas em proporções 1:1 submetendo-as a centrifugação à 4000 RPM por cinco minutos, na qual a parcela superior resultante dessa amostra foi coletada e passou a compor a metade da seguinte, num processo denominado extração múltipla. Posteriormente, submetem-se as amostras a refrigeração a 0 °C por 14 horas. Em seguida, efetuou-se nova centrifugação. Por fim, adicionou-se peneira molecular como agente secante. O teor de umidade foi monitorado por Karl Fischer volumétrico após cada processo. Observou-se que a extração múltipla reduziu a umidade das amostras em mais de 97%. A adoção da refrigeração e da posterior centrifugação se mostraram ineficientes e inviáveis. Já o uso de peneira molecular trouxe melhores resultados quando aplicado em amostras com maiores parcelas aquosas, tornando-o dispensável em amostras obtidas após consecutivas diluições. Portanto, a adoção da extração múltipla e/ou a adoção da peneira molecular, como processos físicos, foram eficientes na desidratação de misturas combustíveis formadas por óleo diesel B S500 e óleo fúsel, minimizando a complexidade tecnológica empregada e reduzindo os custos operacionais.

Introdução

O óleo fúsel é um resíduo da indústria sucroenergética, gerado durante o processo de destilação alcoólica, formado principalmente por álcoois superiores, o que lhe confere características combustíveis (Patil *et al.*, 2002).

No Brasil, o setor de transportes é fortemente dependente do modal rodoviário, responsável por quase 94% de sua demanda energética, sendo o óleo diesel o combustível predominante, com participação de 42,5% (EPE, 2025).

Assim, com a intenção de tornar o combustível fóssil menos nocivo e dar uma melhor finalidade ao resíduo agroindustrial, concebeu-se a bioaditivação do óleo diesel B (10% de biodiesel, 2022) S500 (até 500 ppm de enxofre) com óleo fúsel, para utilização em frotas cativas.

Este estudo se utilizou da propriedade hidrofóbica do óleo diesel como parte do processo físico de separação dos constituintes alcoólicos e da remoção da parcela de água contida no óleo fúsel.



Associado a isso, utilizaram-se tecnologias amplamente consolidadas na indústria alcooleira, como a centrifugação, a refrigeração e o uso de peneira molecular para remoção da umidade.

Material e métodos

Neste estudo, foi utilizado óleo diesel B S500 adquirido em um posto de combustíveis na cidade de Palotina/PR e óleo fúsel oriundo da Usina Santa Terezinha, localizada no município de Jussara/PR. Os ensaios foram realizadas no Laboratório de Análise Instrumental e Controle de Qualidade, da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, em Palotina/PR. As centrifugações foram padronizadas em 4000 RPM pelo período de cinco minutos e executadas em equipamento da marca HoffmannLab, modelo HCL-4. As medições do teor de umidade (% massa) foram realizadas através do método de titulação volumétrica Karl Fischer, em equipamento da fabricante Mettler Toledo, modelo V20, após a aplicação de cada um dos processos físicos descritos a seguir:

(A) Extração múltipla associada a centrifugação: em tubos Falcon e com auxílio de uma micropipeta, foram preparadas triplicatas contendo 15 ml (volume total) de uma mistura formada por óleo fúsel bruto e óleo diesel B, na proporção 1:1. A mistura foi então centrifugada, originando o extrato zero (EXT0). Deste, foram coletados 7,5 ml do material sobrenadante (parcela superior) da amostra, de cada réplica, transferindo-os para novos tubos, no qual, adicionaram-se 7,5 ml de óleo diesel B. A nova mistura foi centrifugada, dando origem ao EXT1. Repetiu-se o processo de coleta e transferência da parcela superior desse material resultante, fazendo-se uma nova adição de óleo diesel B (1:1) seguida de centrifugação, resultando em EXT2. Por fim, os sobrenadantes foram retirados e alocados em novos tubos, onde receberam a adição de outra parcela de óleo diesel B em mesma proporção, sendo submetidas a centrifugação, formando a solução nomeada como EXT3.

(B) Refrigeração associada a centrifugação: os materiais resultantes do procedimento (A) foram submetidos a refrigeração a 0 °C por um período de 14 horas e, então, foram centrifugados.

(C) Uso de agente secante: uma parcela do sobrenadante restante das triplicatas das amostras obtidas em (B) foram coletadas e unificadas, por tipo de extrato, em Erlenmeyer de 50 ml para adição de peneira molecular do tipo 3A (0,3 nm). Para isso, mediu-se a massa das amostras em balança analítica Shimadzu AY220 e calculou-se a quantidade de agente secante com base na média das umidades aferidas no procedimento anterior, adotando-se um fator de correção (f) de 300%, conforme Equação 1. Após a adição das zeólitas, as amostras foram mantidas em bancada pelo período de duas horas, à temperatura ambiente, recebendo agitação manual a cada 30 minutos.

$$Q_{AS} = m.U.f \quad (\text{Equação 1})$$

Onde, Q_{AS} é a quantidade de agente secante (em gramas), m é a massa da amostra (em gramas), U é a média do teor de umidade da amostra (em %) e f é o fator de correção adotado.

(D) Refrigeração: visando avaliar e comparar somente o efeito da refrigeração aplicada posterior ao processo de extração múltipla, repetiu-se a metodologia adotada em (A) e, em seguida, as amostras foram submetidas à refrigeração de 0 °C pelo período de cinco horas.

Utilizando o software Statistica, aplicou-se aos resultados a Análise de Variância (ANOVA) e o Teste de Tukey ($\alpha = 0,05$) para os efeitos: da diluição, dos tratamentos e entre suas interações.



Resultados e Discussão

Imediatamente após se efetuar as misturas, observou-se a turvação das amostras, indicando a presença de água em emulsão. A ação hidrofóbica do óleo diesel (apolar) auxiliou na segregação da parcela aquosa (polar) contida no óleo fúsel. Além disso, houve também a miscibilidade dos álcoois superiores, que possuem caráter apolar devido às suas cadeias carbônicas mais longas, com o óleo diesel. E, por fim, o processo de centrifugação auxiliou na formação de duas fases mais bem definidas, em decorrência da diferença de densidade entre os líquidos, contribuindo para a redução da turbidez, sugerindo diminuição da água dispersa no meio. Resultados similares sobre a turvação e o efeito da centrifugação foram apontados por Fregolante *et al.* (2012).

Durante o processo de extração múltipla, o volume de água separado no fundo dos tubos, por centrifugação, diminuiu progressivamente. As amostras também adquiriram maior transparência e assumiram uma tonalidade mais avermelhada, similar ao padrão do óleo diesel B S500. Esses resultados evidenciaram a efetividade do método de desidratação, ratificado pelo comparativo entre os resultados obtidos em (A) e os valores teóricos apresentados em (*), de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1 - Médias dos teores de umidade medidos após a aplicação de cada tratamento (% massa)

Diluição	(*)	Tratamento			
		(A)	(D)	(B)	(C)
EXT0	7,8752	4,4495 ^a	4,3164 ^a	4,0550 ^b	2,5571 ^c
EXT1	3,9376	1,5959 ^d	1,5115 ^d	1,5671 ^d	1,1827 ^e
EXT2	1,9688	0,5737 ^f	0,5542 ^f	0,5579 ^f	0,4544 ^{f,g}
EXT3	0,9844	0,2173 ^{g,h}	0,2250 ^{g,h}	0,2259 ^{g,h}	0,1749 ^h

*Valor teórico calculado com base na média do teor de umidade da amostra bruta de óleo fúsel (15,7504%).

Fonte: O autor.

Quanto a aplicação da refrigeração às amostras, ainda que o teor de umidade tenha sido reduzido, não houve diferença estatística significativa, conforme observado entre os valores obtidos em (A) e (D), na Tabela 1. Considera-se que há uma interferência na velocidade de movimentação das moléculas, tornando-as mais lentas e agrupadas, favorecendo assim, a separação de fases e auxiliando no processo de decantação das partículas de água emulsionadas, dando polimento à amostra e afetando sutilmente sua umidade. Por outro lado, a associação da centrifugação posterior ao tratamento resultou em um leve aumento no teor de água. Acredita-se que esse efeito tenha sido ocasionado pela energia introduzida no sistema, que excitou as moléculas e as dispersou no meio, além de causar a elevação da temperatura das amostras. Esse fenômeno pôde ser observado nas extrações contendo menores quantidades de água, como em EXT1, EXT2 e EXT3. Entretanto, observou-se o efeito oposto em EXT0. Desse modo, a adoção dos métodos se mostrou inviável, por ser inconclusivo para (B) e questionável para (D), uma vez



que os custos operacionais e o consumo energético se elevaram sem que houvesse um ganho considerável na desidratação das amostras.

Em contrapartida, o uso de peneira molecular se mostrou eficiente, sendo capaz de remover parcelas entre 19,51% (EXT3) e 42,53% (EXT0) da umidade apresentada em (A). Além disso, as zeólitas são uma tecnologia já difundida e utilizada na indústria, de fácil secagem e reutilização.

Por fim, através da análise estatística ($\alpha = 0,05$) pôde-se inferir que, para os níveis de diluição, observaram-se quatro grupos de médias significativamente diferentes, enquanto que para os graus de tratamento, somente os resultados obtidos em (C) diferiram dos demais. Isso mostra que: ótimos resultados podem ser obtidos somente com a adoção da extração múltipla; o uso de agente secante é uma opção complementar ao tratamento anterior e; que os demais tratamentos podem ser desconsiderados em futuros estudos.

Considerações finais

Neste trabalho, ao considerar que, pelo menos metade da redução da umidade entre as extrações se deve ao processo de diluição gerado pela extração múltipla, pode-se afirmar que os valores excedentes estão diretamente relacionados a aplicação dos processos físicos. No entanto, a adoção da refrigeração e sua associação com uma posterior centrifugação se mostraram inviáveis do ponto de vista econômico e energético, dado seus resultados desfavoráveis. Por outro lado, o uso da peneira molecular se mostrou bastante promissor, devendo proporcionar futuros estudos quanto sua utilização como processo físico isolado ou em comparação com outros agentes adsorventes.

Portanto, ficou evidente que a desidratação das misturas combustíveis pode ser otimizada utilizando-se apenas a extração múltipla e/ou com o uso de agentes secantes, como a peneira molecular, minimizando operações, custos e a complexidade tecnológica empregada nas operações.

Agradecimentos

UFPR, CAPES, LACAUT e CEMPEQC.

Referências

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Balanco Energético Nacional 2025**: Ano base 2024. Rio de Janeiro: EPE, 2025.

FREGOLENTE, P.B.C.; FREGOLENTE, L.V.; MACIEL, M.R.W. Water Content in Biodiesel, Diesel, and Biodiesel–Diesel Blends. **Journal of Chemical & Engineering Data**, vol 57, p. 1817-1821, 2012.

PATIL, A.G.; KOOLWAL, S. M.; BUTALA, H.D. Fusel oil: composition, removal and potential utilization. **International Sugar Journal**, v. 104, n. 1238, p. 51-63, 2002.



NANOPARTÍCULAS DE SnO₂/CuO SOBRE ELETRODO DE AÇO INOXIDÁVEL 254 PARA PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VIA ELETRÓLISE DA ÁGUA AUXILIADA POR ÁCIDO FÓRMICO E ETANOL

Gabriel Kozahoski de Toledo¹, Letícia Larsson¹, André Lazarin Gallina¹

¹Universidade Estadual do Centro-Oeste

Palavras-chave

Energia, Célula combustível, Hidrogênio verde, Eletrocatalisador, Bioetanol.

Resumo

A eletrólise da água para a produção de hidrogênio é uma alternativa vantajosa do ponto de vista ambiental, pois não há emissão de gás carbônico no processo. A eletrólise da água na presença de ácido fórmico e etanol vem como uma proposta de reduzir a entrada energética, viabilizando ainda mais o processo. A atividade eletrocatalítica é um dos fatores chave para a produção de hidrogênio por esta via. Esse trabalho estudou a produção de hidrogênio por eletrólise da água, em solução de ácido fórmico e etanol, catalisada por nanopartículas de SnO₂/CuO sobre eletrodo de aço inoxidável 254, tendo como objetivo a produção do gás hidrogênio nas condições aqui propostas e a avaliação da atividade eletrocatalítica do nanocompósito SnO₂/CuO. Para tal, os óxidos foram preparados por uma técnica de coprecipitação e incorporados em uma tinta que foi aplicada sobre o eletrodo. Foi feita a caracterização por MEV, EDS, DRX e Raman. Os ensaios eletroquímicos foram PPC, OCP e Cronoamperometria. As imagens de MEV mostraram uma estrutura semelhante a flocos, cobertos por pequenas nanopartículas. As curvas de PPC mostraram que uma corrente maior foi obtida para o eletrodo coberto com as nanopartículas. Então, houve a produção de hidrogênio no meio estudado, e as nanopartículas agiram como catalisadores da reação de produção de hidrogênio.

Introdução

O hidrogênio é o elemento mais abundante do universo. O gás hidrogênio possui a maior entalpia específica de todos os combustíveis conhecidos, o que torna o hidrogênio um forte candidato a ser o principal combustível do futuro. Além disso, a reação com o oxigênio tem como único produto a água. Apesar desses pontos positivos, ainda é necessário que o processo de produção de hidrogênio seja renovável e com baixa emissão de carbono. Porém, atualmente, a maioria do hidrogênio produzido mundialmente é proveniente de combustíveis fósseis. (GAUTAM; RAO; SAXENA, 2017 apud HAGEMANN, 2023).

Neste contexto, surge o conceito de hidrogênio verde, que é visto como um combustível promissor para o desenvolvimento sustentável e a transição energética, pois pode ser produzido a partir da água e de fontes renováveis de energia, por meio da eletrólise. (KUMAR; LIM, 2022).

A eletrólise é o processo no qual uma corrente elétrica é aplicada para forçar uma reação no sentido não espontâneo, ou seja, a aplicação de uma energia é necessária. No entanto, as propriedades



do sistema empregado na eletrólise podem ser alteradas para minimizar a energia gasta. Isso pode ser feito utilizando eletrólitos, eletrodos e catalisadores eficientes e de baixo custo. (GALLINA, 2014).

Os ácidos orgânicos de baixa massa molecular, como o ácido fórmico, têm se destacado em nível mundial para a eletrólise da água. (GALLINA, 2014). A energia envolvida na eletrólise de soluções de ácido fórmico é relativamente baixa, quando comparada com a eletrólise da água. (GUO et al., 2011).

O etanol também pode ser utilizado para auxiliar a eletrólise da água. A reação de desprendimento de oxigênio no ânodo é lenta, sendo assim o etanol integra uma reação oxidativa ao ânodo, reduzindo o sobrepotencial anódico, o que é um processo termodinamicamente mais favorável e cineticamente mais rápido. (LIU et al., 2022) (PECH-RODRÍGUEZ; GARCÍA-LEZAMA; SAHIN, 2023).

A maioria dos processos para obtenção do hidrogênio atualmente utilizam eletrodos de platina. Isso faz com que os custos de produção sejam elevados. Desta forma o eletrodo de aço inoxidável vem ganhando espaço por ser um material promissor e de baixo custo, que é disponível em larga escala e apresenta vantagens como estabilidade mecânica e química, além de possuir boa condutividade elétrica. (JIANG et al., 2024).

Atualmente, os óxidos metálicos têm sido estudados para superar as barreiras de ampla aplicação do processo, diminuindo a energia de ativação. Compósitos a base de SnO_2 demonstram ser muito versáteis. (PECH-RODRÍGUEZ; GARCÍA-LEZAMA; SAHIN, 2023). O óxido de estanho é um semicondutor com boa estabilidade química e elevada área superficial, porém é um material que apresenta baixa atividade para o processo eletroquímico e tem baixo desempenho e estabilidade cíclica. Para preencher as lacunas deixadas pelo SnO_2 , o CuO vem com sua alta condutividade, reduzindo ou até mesmo interrompendo a variação de volume no material compósito. (ULLAH et al., 2023).

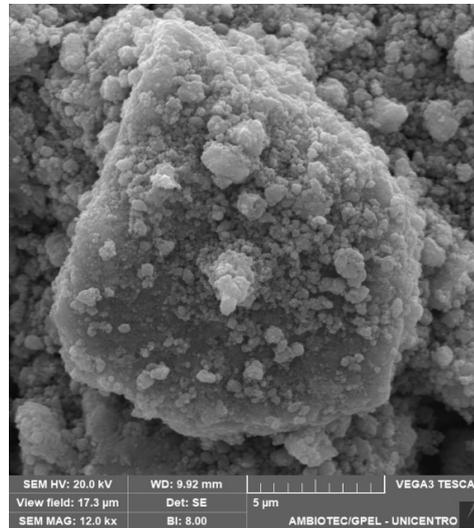
Material e métodos

As nanopartículas foram produzidas a partir de um processo de coprecipitação, seguindo o método proposto por Ullah et al. (2023). O material obtido foi utilizado para produzir uma tinta catalítica, a qual foi depositada sobre o eletrodo com o auxílio de um pulverizador, obtendo uma camada fina e uniforme. As técnicas utilizadas para caracterização foram: difração de raios-X (determinar a estrutura cristalina), espectroscopia Raman (estrutura cristalina e grupos funcionais), microscopia eletrônica de varredura (morfologia e composição do material), espectroscopia de energia dispersiva (composição química). Os ensaios eletroquímicos foram: potencial de circuito aberto, polarização potenciodinâmica catódica e cronoamperometria.

Resultados e Discussão

Após a síntese e inserção dos óxidos (compósito SnO_2/CuO) sobre a superfície do aço 254, foram obtidas as imagens de MEV, que são apresentadas na figura 1. De acordo com esta imagem, a estrutura morfológica do compósito tende a formar aglomerados em forma de flocos cobertos por pequenas nanopartículas. Essas pequenas nanopartículas se agrupam para formar partículas maiores. Esse resultado está de acordo com o que foi observado por PECH-RODRÍGUEZ, et al. (2023) que relata que nanopartículas pequenas tendem a formar nanoesferas grandes.

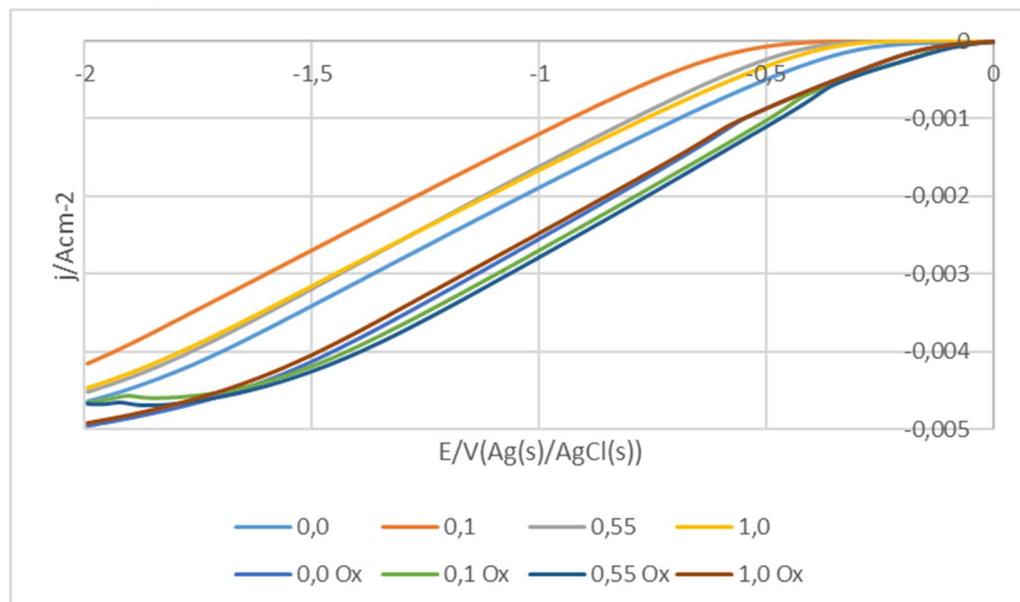
Figura 1 – Imagem MEV do composto SnO₂/CuO.



Fonte: O autor, 2025.

A figura 2 apresenta as curvas de polarização potenciodinâmica catódica para os eletrodos sem e com a aplicação do óxido, em eletrólitos de ácido fórmico e etanol nas proporções 0,0%, 0,1%, 0,55% e 1% (V/V).

Figura 2 – Curvas de Polarização Potenciodinâmica Catódica



Fonte: O autor (2025).

Todas as curvas apresentam comportamento semelhante, com o aumento da densidade de corrente à medida que o potencial se torna mais negativo, indicando a intensificação da reação de redução. A presença do etanol não altera fortemente o desempenho da célula. Uma maior corrente foi obtida para



os eletrodos cobertos com as nanopartículas, o que indica uma maior taxa de reação catódica, ou seja, uma maior produção de H₂.

Considerações finais

Diante do estudado, se chegou à conclusão que há a produção de hidrogênio em um eletrólito de ácido fórmico e etanol, utilizando eletrodo de aço inoxidável 254. E também que o revestimento do eletrodo com nanopartículas de SnO₂/CuO, teve efeito catalítico e aumentou a produção de hidrogênio.

Agradecimentos

Agradeço ao grupo de pesquisa InovaBioS. A CAPES pela bolsa concedida e ao NAPI H₂ pelo apoio financeiro. Agradeço também minha família e amigos.

Referências

- GALLINA, A. L. Produção de gás hidrogênio utilizando glicerina e eletrodos metálicos de baixo custo. 2014. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2014.
- GUO, W. L. et al. Hydrogen production via electrolysis of aqueous formic acid solutions. *International Journal of Hydrogen Energy*, [S.l.], v. 36, n. 15, p. 9415–9419, 2011.
- HAGEMANN, E. C. S. Micropartículas TiO₂ para catálise da produção de hidrogênio em soluções de ácido fórmico. 2023. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava, 2023.
- JIANG, Tao et al. Activation of low-cost stainless-steel electrodes for efficient and stable anion-exchange membrane water electrolysis. *Journal of Materials Chemistry A*, [S.l.], v. 12, p. 29909–29922, 2024.
- KUMAR, S. Shiva; LIM, Hankwon. An overview of water electrolysis technologies for green hydrogen production. *Energy Reports*, v. 8, p. 13793–13813, 2022.
- LIU, Fangsheng et al. Elevated-temperature bio-ethanol-assisted water electrolysis for efficient hydrogen production. *Chemical Engineering Journal*, [S.l.], v. 434, p. 134699, 2022.
- PECH-RODRÍGUEZ, Wilian Jesús; GARCÍA-LEZAMA, Héctor Manuel; SAHIN, Nihat Ege. Facile preparation of SnO₂/CuO nanocomposites as electrocatalysts for energy-efficient hybrid water electrolysis in the presence of ethanol. *Energies*, Basel, v. 16, n. 13, p. 4986, 2023.
- ULLAH, Ehsan et al. Fabrication of 1.6 V asymmetric supercapacitor in an aqueous electrolyte using a CuO-SnO₂ composite and activated carbon electrodes. *Materials Today Communications*, [S.l.], v. 37, 2023.



EFEITO DAS VARIÁVEIS OPERACIONAIS DA ETAPA WATER GAS SHIFT NO PROCESSO DE PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO VIA REFORMA A SECO DO BIOGÁS

Arthur de Almeida Martins¹, Diego Rafael Mágero Elihimas¹, Mauro Antonio da Silva Sá Ravagnani¹
Caliane Bastos Borba Costa¹

¹Universidade Estadual de Maringá

Palavras-chave

Hidrogênio, Biorrefinaria, Reforma a seco, Biocombustíveis.

Resumo

A crescente demanda por energia sustentável e a necessidade de mitigar emissões de carbono têm impulsionado o desenvolvimento de rotas de produção de hidrogênio a partir de resíduos orgânicos. Um dos caminhos é a reação de metano e dióxido de carbono para produzir hidrogênio e monóxido de carbono, conhecido como reforma a seco do biogás. Para implementar a produção de hidrogênio, a reação de deslocamento gás-água (*Water Gas Shift*, WGS) é usualmente integrada ao processo, com a reação de CO e H₂O para produzir hidrogênio adicional e dióxido de carbono. Dois reatores de WGS são utilizados, um a alta temperatura (visando priorizar velocidade de reação) e um a baixa temperatura (visando melhorar a conversão, por se tratar de reação reversível exotérmica). No presente estudo avaliou-se a influência das condições operacionais da etapa de WGS sobre a produção de H₂. Foram desenvolvidas simulações em Aspen Plus, variando-se a temperatura dos reatores de WGS e a razão molar H₂O/CO, a fim de identificar o impacto dessas variáveis no processo. Como esperado, temperaturas mais baixas e maiores razões H₂O/CO favorecem a reação e, conseqüentemente, a formação de H₂.

Introdução

A grande demanda por energias sustentáveis e a busca pela descarbonização têm favorecido o surgimento de novas tecnologias. A reforma a seco do biogás produzido pela digestão anaeróbia de resíduos orgânicos, uma fonte abundante, renovável e de baixo custo, apresenta-se como uma rota promissora para converter metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), em hidrogênio (H₂) e monóxido de carbono (CO). No entanto, a produção de H₂ por essa rota é limitada pela formação de coque, proveniente de reações paralelas, como a decomposição do metano e a reação de Boudouard, especialmente entre 553 e 700 K (Gao *et al.*, 2018). Para ampliar a produção de H₂ e melhorar a eficiência do processo, a reação de deslocamento gás-água (*Water Gas Shift*, WGS) é integrada à reforma, uma vez que converte CO e vapor de água em H₂ adicional, reduzindo o teor de CO no gás final. A eficiência da WGS depende fortemente das condições operacionais. Por ser uma reação reversível exotérmica, menores temperaturas favorecem a conversão, enquanto a razão H₂O/CO determina a disponibilidade de vapor de água para o equilíbrio. Recomenda-se operar os reatores de deslocamento de alta temperatura (*High Temperature Shift*, HTS) entre 623 e 773 K, e os de baixa temperatura (*Low Temperature Shift*, LTS) entre 473 e 523 K (Lee *et al.*, 2023). No presente estudo



A análise de sensibilidade da temperatura do HTS (Figura 2) mostra que a produção de hidrogênio atinge valor máximo (aproximadamente 585 kg/h) a 600 K, diminuindo para cerca de 420 kg/h a 1400 K. Operar em temperaturas reduzidas aumenta a eficiência termodinâmica do processo, embora a cinética de reação deva ser considerada em aplicações industriais. É importante destacar que os resultados da Figura 2 referem-se exclusivamente à corrente de saída do HTS (HTS-S). Isso porque, quando se analisa a produção de hidrogênio ao final do processo, observou-se que a variação da temperatura do HTS exerce influência reduzida sobre o valor final de H_2 . Esse comportamento se deve ao fato de ambos os reatores terem sido modelados como reatores de Gibbs, operando sob condições de equilíbrio químico. Assim, o LTS atua como uma etapa compensatória, ajustando o equilíbrio global do sistema e mitigando os efeitos da temperatura do HTS na produção final de hidrogênio. O aumento da razão H_2O/CO exerce efeito compensatório sobre o impacto térmico, conforme o princípio de Le Chatelier, deslocando o equilíbrio em direção aos produtos. Em temperaturas mais elevadas, esse efeito se torna relevante, embora não suficiente para atingir o rendimento máximo de hidrogênio. Em baixas temperaturas, as curvas convergem para um ponto de saturação (575 kg/h) (Figura 3), indicando que o sistema alcança equilíbrio e a adição de vapor de água não promove aumento adicional de conversão. Os resultados obtidos estão em conformidade com o comportamento descrito na literatura (Lee *et al.*, 2023). A máxima produção de hidrogênio observada na faixa de 400 a 600 K está em concordância com os intervalos operacionais típicos dos reatores HTS e LTS, validando a consistência termodinâmica do modelo. O efeito compensatório observado entre as etapas HTS e LTS também reflete a função complementar desses reatores na reação entre CO e água para formar H_2 .

Considerações finais

O estudo demonstrou a importância das variáveis operacionais na etapa de WGS para a maximização da produção de hidrogênio via reforma a seco do biogás. Temperaturas mais baixas favorecem a reação de CO com água para produzir H_2 , enquanto a razão H_2O/CO atua como parâmetro compensatório em condições térmicas elevadas. Os resultados reforçam a necessidade de otimização conjunta entre temperatura e razão molar para aumentar a eficiência global do processo, contribuindo para o avanço tecnológico de rotas sustentáveis de produção de hidrogênio.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), código de financiamento 001 e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processos nº 180666/2025-8, 141891/2023-8, 307705/2025-0, 309026/2022-9 e 406544/2023-9.

Referências

- ELIHIMAS, D. R. M.; SIQUEIRA, W. D. P.; MARTINS, A. A.; PAVÃO, L. V.; RAVAGNANI, M. A. S. S.; COSTA, C. B. B. Otimização da reforma a vapor do biogás para produção de hidrogênio. **Anais do 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Química e 20º Encontro Brasileiro sobre o Ensino em Engenharia Química, 2025**, Belo Horizonte. Anais eletrônicos, Galoá, 2025.
- GAO, Y.; JIANG, J.; MENG, Y.; YAN, F.; AIHEMAITI, A. A review of recent developments in hydrogen production via biogas dry reforming. **Energy Conversion and Management**, v. 171, p. 133-155, 2018.



KOURDOURLI, F.; ESTEL, L.; TAOUK, B.; ABDELOUAHED, L. Modeling of hydrogen production from biomass bio-digestion under Aspen Plus. *Computers & Chemical Engineering*, v. 175, p. 108273, 2023.

LEE, R.-R.; JEON, I.-J.; JANG, W.-J.; ROH, H.-S.; SHIM, J.-O. Advances in catalysts for water–gas shift reaction using waste-derived synthesis gas. *Catalysts*, v. 13, n. 4, p. 710, 2023.

Figura 2 - Efeito da temperatura do HTS na produção de H₂ na saída do HTS (razão H₂O/CO = 1 e LTS a 483 K).

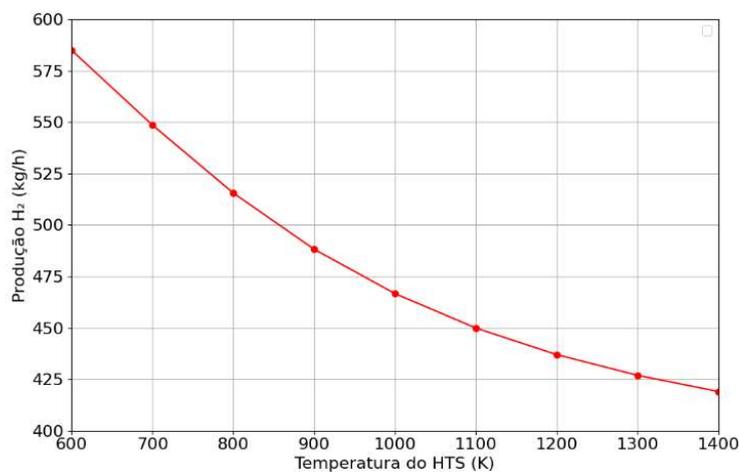
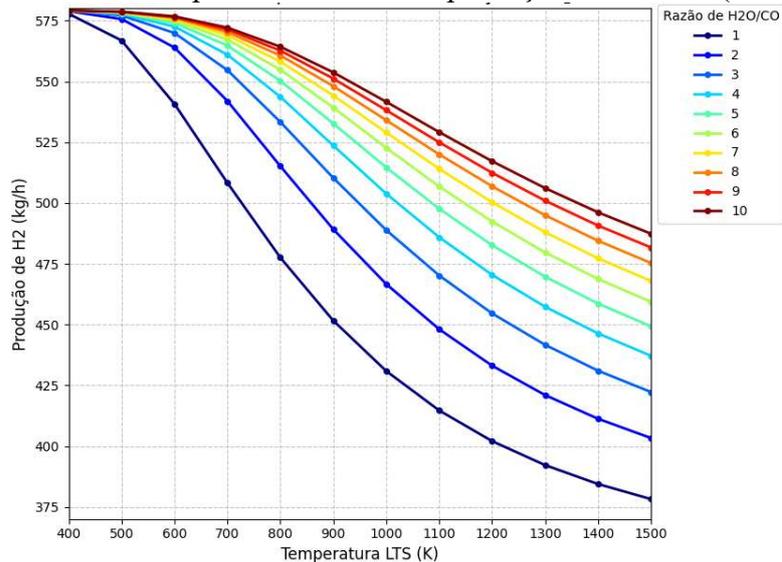


Figura 3- Efeito da temperatura do LTS na produção final de H₂ (HTS a 623 K)





AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA COMPOSIÇÃO DA VINHAÇA NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS: PERSPECTIVAS AMBIENTAIS, ECONÔMICAS E ENERGÉTICAS

Vanessa de Sibie Valério¹, Jocilene Louize Bach Fafarão¹, Layla de Fatima Goncalves¹, Victor Hugo Correa¹, Daniel Tait Vareschini¹

¹Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Palavras-chave

Digestão anaeróbia, biometano, resíduos agroindustriais, modelagem matemática, energia renovável.

Resumo

A digestão anaeróbia é uma alternativa sustentável para o aproveitamento de resíduos agroindustriais, permitindo a produção de biogás rico em metano e sua conversão em energia renovável. Entre os subprodutos da cadeia sucroenergética, a vinhaça e a torta de filtro destacam-se pelo alto potencial bioenergético, embora sua codigestão ainda seja pouco estudada. Este trabalho tem como objetivo estimar o potencial de produção de metano a partir desses resíduos, analisados isoladamente e em mistura, por meio de modelagem matemática e cinética (Buswell, DQO, primeira ordem e Gompertz modificado). As simulações serão realizadas em Excel e Python, visando avaliar o potencial energético e contribuir para a otimização de processos de biodigestão e o aproveitamento sustentável de resíduos do setor sucroenergético.

Introdução

O aumento da demanda por energia e as mudanças climáticas estimulam a busca por biocombustíveis sustentáveis (Polastri, 2024). No Brasil, a cana-de-açúcar tem papel central desde o PRO-ÁLCOOL (1975), com programas como o Renovabio reforçando a produção de etanol e o uso de fontes renováveis (Simões, 2021). Entre os resíduos do setor, a vinhaça (8–20 L por litro de etanol; Costa *et al.*, 2024) tem grande potencial energético, sendo eficazmente aproveitada por digestão anaeróbia para gerar biogás e reduzir impactos ambientais (Santos *et al.*, 2019). A codigestão da vinhaça com a torta de filtro é uma alternativa promissora para produção de biogás e biofertilizantes, e este estudo visa estimar o potencial de metano por meio de modelagem matemática e cinética (Buswell, primeira ordem e Gompertz modificado) em Excel e Python, promovendo aproveitamento energético sustentável e economia circular no setor sucroenergético.

Material e métodos

Este estudo utilizará dados secundários da literatura sobre a caracterização da vinhaça e torta de filtro, considerando DQO, sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e, quando disponíveis, a composição elementar (C, H, O, N, S) (Souza, 2019). O potencial bioquímico de metano (BMP) será estimado por três abordagens: equação estequiométrica de Buswell, conversão da DQO removida em metano (0,35 L CH₄/g DQO, CNTP) e modelos cinéticos de primeira ordem e Gompertz modificado (Batstone *et al.*, 2006). As equações serão implementadas em Excel e Python para cálculos, simulações e visualização



gráfica. Serão avaliados separadamente a vinhaça, a torta de filtro e a mistura, considerando a carga orgânica, e os resultados serão comparados entre os modelos e discutidos com base na literatura.

Resultados e Discussão

A vinhaça, resíduo da destilação alcoólica, apresenta alto potencial energético devido à carga orgânica e matéria biodegradável. Segundo Costa (2021), Berber (2022) e Facin (2024), a DQO varia de 15.000 a 50.000 mg/L (média de 28.000 mg/L), os sólidos totais de 2 a 8% com 60–65% de sólidos voláteis, e a relação C/N média é 23, favorecendo a digestão anaeróbia. O biogás contém cerca de 62% de CH₄, com eficiência média de remoção de DQO de 0,60 adotada neste estudo. Considerando, conforme a Tabela 1, DQO de 15.000 mg/L, remoção de 60%, rendimento de 0,33 L CH₄/g DQO e fator de conversão de 9,94 kWh/m³ CH₄, foi possível estimar a produção de metano e energia elétrica da biodigestão da vinhaça.

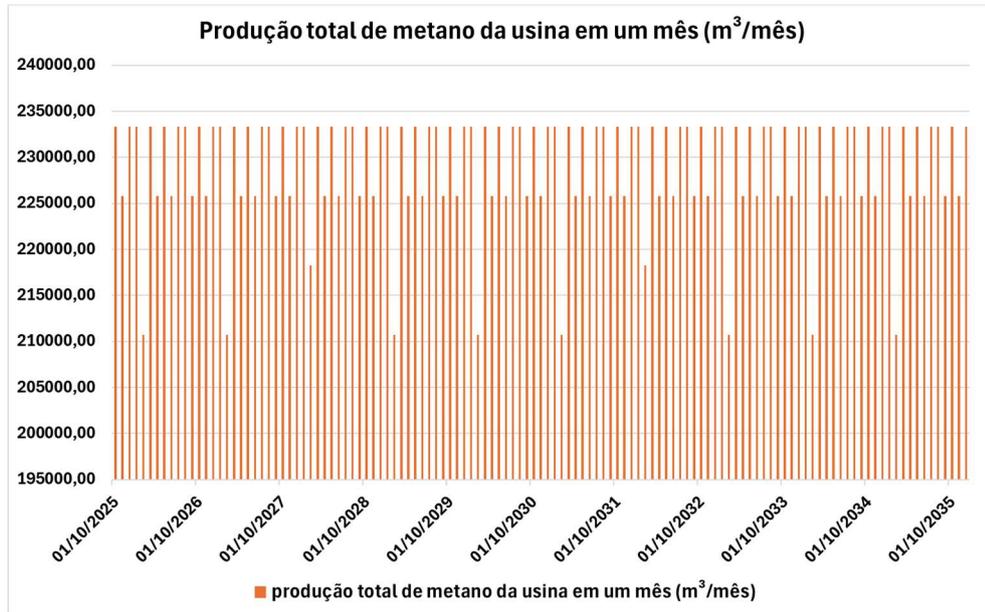
Tabela 1 – Parâmetros para um cenário conservador

Parâmetros	Valores
Quantos litros de vinhaça são gerados por tonelada de cana processada (L/t)	156
Capacidade de moagem da usina em toneladas de cana por dia (t/d)	2000
Concentração de demanda química de oxigênio (DQO) na vinhaça, em mg/L.	15000
Fração da DQO que realmente é degradada no biodigestor (%)	0,6
Rendimento teórico de metano: quantos litros de CH ₄ são gerados por cada grama de DQO removida (g)	0,33
Massa de torta de filtro gerada por tonelada de cana (kg/t)	20
Fração da torta que é sólido volátil (SV), ou seja, matéria orgânica biodegradável (%)	0,55
Quantos litros de CH ₄ podem ser gerados por cada grama de SV	0,3
Fator de conversão do metano em energia elétrica (kWh/ m ³)	9,94
Data de início da projeção (normalmente a safra ou início do ano de operação)	01/10/2025
Quantidade de cada tonelada de cana processada (m ³)	3,76

*Autor (2025).

Tem-se que, para uma usina com moagem de 2.000 t/dia, a produção média é de 3,76 m³ de metano por tonelada de cana, totalizando 225.000–235.000 m³ de CH₄ por mês, com variações sazonais refletindo apenas o número de dias de operação, mantendo estabilidade na conversão de DQO em biogás (Figura 1).

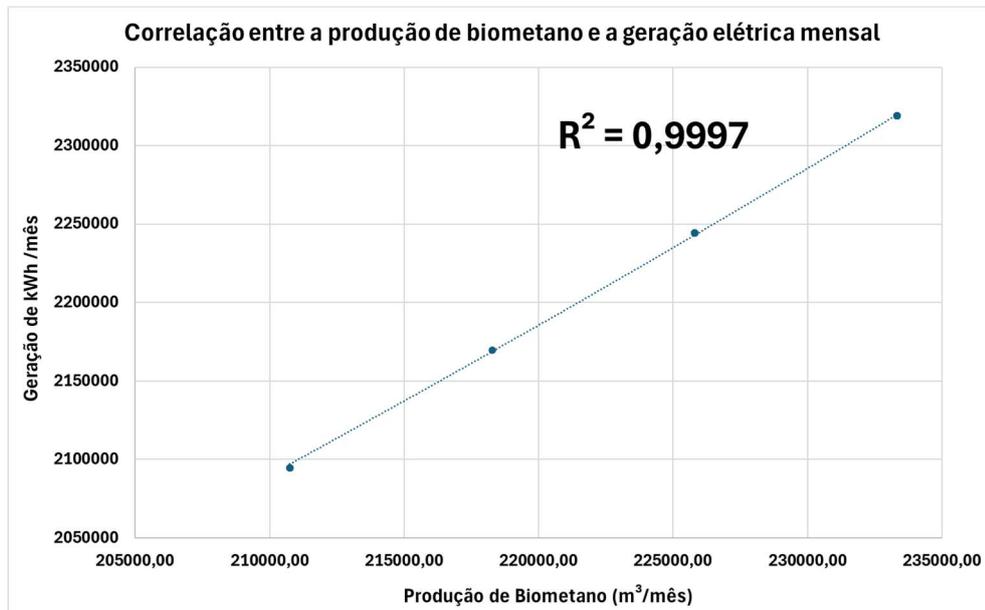
Figura 1 – Estabilidade de geração de metano em um cenário conservador.



Fonte: Autor (2025).

A Figura 2 mostra forte correlação ($R^2 = 0,9997$) entre biometano e geração elétrica, confirmando que maior produção de metano resulta proporcionalmente em maior energia, evidenciando a previsibilidade do desempenho energético em digestões anaeróbias de vinhaça (Berber, 2022; Facin, 2024).

Figura 2 – Correlação entre a produção de metano e a geração de energia



Fonte: Autor (2025).

Os resultados indicam que a biodigestão anaeróbia da vinhaça é viável e eficiente, permitindo recuperar cerca de 2,3 milhões de kWh/mês (≈ 27 GWh/ano), suficiente para suprir parte da demanda elétrica de uma usina de médio porte.



Considerações finais

A produção de metano a partir da vinhaça é estável (225.000–235.000 m³/mês; ≈3,76 m³ CH₄/t de cana) e fortemente correlacionada com a geração elétrica ($R^2 = 0,9997$), indicando previsibilidade e estabilidade do processo anaeróbio. No cenário conservador, a produção anual estimada é de cerca de 27 GWh, confirmando a viabilidade técnica e energética da biodigestão, com recomendação de prosseguir com simulações em Python para explorar cenários adicionais e aprimorar projeções.

Agradecimentos

Agradece-se à CAPES e ao CNPq pelo apoio institucional e financeiro.

Referências

- BATSTONE, D. J. *et al.* **Anaerobic Digestion Model No. 1 (ADM1)**. London: IWA Publishing, 2006.
- BERBER, L. C. **Aproveitamento energético de resíduos do setor sucroenergético por digestão anaeróbia**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2022.
- COSTA, R. M. **Modelagem e avaliação de processos de biodigestão de vinhaça de cana-de-açúcar**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2021.
- FACIN, A. K. **Modelagem matemática e avaliação econômica de uma nova abordagem para concentrar vinhaça de cana-de-açúcar**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2024.
- POLASTRI, P. **Codigestão anaeróbia de vinhaça e torta de filtro: desempenho, cinética e estabilidade**. 2024. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2024.
- SIMÕES, A. F. **Potencial metanogênico da torta de filtro de cana-de-açúcar: codigestão com vinhaça**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2021.
- SANTOS, A. A. *et al.* **Produção de biogás a partir de vinhaça: revisão crítica sobre técnicas e substratos alternativos**. Revista Ambiente & Água, v. 14, n. 4, p. 1–17, 2019.
- SOUZA, L. P. R. **Modelagem matemática e avaliação econômica da concentração de vinhaça de cana-de-açúcar**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.



SUSTENTABILIDADE E DIREITO AMBIENTAL NA IMPLANTAÇÃO DE USINA DE ETANOL A PARTIR DE RESÍDUOS DE BATATA: VIABILIDADE DE PARTICIPAÇÃO NO MERCADO DE CARBONO

Maiara Meira¹, Angélica Furlanetto Soares¹, André Lazarin Gallina¹

¹Universidade Estadual do Centro-Oeste

Palavras-chave: etanol de batata, crédito de carbono, energia da biomassa.

Resumo

O trabalho consiste na análise quanto à viabilidade da implantação de uma usina de etanol, que utiliza batata como matéria prima, no município de Guarapuava-PR. Além da produção de etanol de biomassa de resíduo agrícola, que consiste na batata considerada como “refugo”, ainda pretende-se inserir a atividade no Mercado de Crédito de Carbono. A pesquisa adota uma abordagem metodológica mista, combinando pesquisa bibliográfica, legislativa e desenvolvimento de projeto de implantação da atividade no Mercado de Carbono. Primeiramente, se realizará uma pesquisa bibliográfica para compreender como se dá a produção de etanol utilizando a batata como matéria-prima. Conjuntamente a esta pesquisa documental, será realizada a análise de legislações e regulamentações ambientais, a fim de explorar formas de tornar a produção de etanol oriundo da batata uma atividade plenamente sustentável, em conformidade com o disposto no artigo 225 da Constituição Federal de 1988, considerado um dos princípios basilares do Direito Ambiental. Por fim, será elaborado um projeto destinado a usina de etanol em questão, apresentando os resultados finais sobre a viabilidade econômica e ambiental de sua inserção no Mercado de Carbono. Para a execução de tal projeto, as metodologias aplicáveis seguem os padrões estabelecidos pelo Verified Carbon Standard (VCS) da Verra. Pretende-se alcançar resultados significativos no que diz respeito à produção de energia limpa e desenvolvimento sustentável. Acredita-se que ficará demonstrada a viabilidade econômica, ambiental e social da implantação de usina de etanol proveniente de resíduos de batata.

Introdução

A Organização das Nações Unidas (ONU), tendo com um dos motivadores o incentivo à redução de impactos negativos ao meio ambiente, criou os ODS - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável. Para Lins et al (2023) esses objetivos foram criados em prol da sociedade, visando a um desenvolvimento pautado em metas que garantam a qualidade de vida e o desenvolvimento sustentável. Quanto à produção de energia, seguindo a linha de desenvolvimento sustentável, se prevê que o uso de fontes renováveis sofrerá um aumento considerável em comparação às não renováveis (Al- Hamare et al 2017).

Segundo a International Renewable Energy Agency (IRENA, [s.d.]) a transição energética depende da substituição de fontes fósseis por fontes de carbono zero. Dentre as inúmeras fontes de energia sem as quais a humanidade é incapaz de continuar seu desenvolvimento cita-se o combustível. Segundo Serrano et al (2014) a presença de enxofre nos combustíveis incide na poluição atmosférica, principalmente após a combustão em que são emitidos poluentes SO_x, que afetam negativamente o meio ambiente. Neste cenário, desde os primeiros momentos da indústria automobilística, o etanol tem sido considerado como um biocombustível viável (Machado et al, 2006).



A partir da criação do PROALCOOL, em 1975, iniciou-se uma nova etapa do segmento sucroenergético. Segundo Soares et al (2016), nesta fase inicial houve um crescimento substancial da produção de etanol passando de 600 milhões litros/ano (safra 1975/76) para 3,4 bilhões de litros/ano (1979/1980).

O Brasil é grande produtor de etanol, sobretudo etanol produzido a partir de cana-de-açúcar. Ressalta-se, porém, que qualquer produto que contenha uma quantidade considerável de carboidratos, principalmente açúcares constitui-se em matéria-prima para obtenção de etanol (Machado et al, 2006). A batata é uma matéria-prima capaz de produzir etanol por meio de fermentação e ocupa o ranking de alta produção agropecuária do estado do Paraná (IBGE, 2023).

O Renovabio é uma política nacional importantíssima para o incentivo de produção de combustíveis renováveis e institui objetivos de descarbonização voltados à cadeia de produção e distribuição de combustíveis. Nesse mesmo contexto de redução de emissões de GEE, tem-se o Mercado de Carbono, instrumento criado a partir do Protocolo de Kyoto. Seu principal objetivo é incentivar a redução das emissões de CO₂ utilizando-se de limites quantitativos e da comercialização de créditos de carbono. Quem reduz suas emissões abaixo do limite determinado pode comercializar esses créditos excedentes. Já quem desrespeita o limite estabelecido precisa comprar créditos para compensar.

Portanto, o Mercado de Crédito de Carbono estabelece uma conexão entre os compromissos ambientais e os mecanismos de incentivo econômico. A operacionalização do mercado de carbono é vista como uma das estratégias mais eficazes para incentivar a descarbonização global, conforme preceitua Michaelowa et al.(2020).

Dessa forma, atividades relacionadas à produção de combustíveis podem integrar o Mercado de Carbono, desde que adotem técnicas sustentáveis em seus processos. A geração de créditos está condicionada à redução comprovada das emissões de gases de efeito estufa, o que exige um modelo produtivo ambientalmente responsável.

Material e métodos

Avaliação de inserção no mercado de carbono:

A pesquisa adotará uma abordagem metodológica que combina pesquisa bibliográfica, documental e análise de caso prático.

As metodologias aplicáveis ao projeto seguem os padrões estabelecidos pelo Verified Carbon Standard (VCS) da Verra, organização internacional líder em certificação de créditos de carbono no mercado voluntário. Essas metodologias fornecem critérios técnicos e procedimentos para quantificar reduções ou remoções verificáveis de emissões de gases de efeito estufa (GEE), garantindo integridade ambiental, adicionalidade e rastreabilidade dos créditos gerados. Como:

- *ACM0006 - Geração de eletricidade conectada à rede a partir de fontes renováveis*

A metodologia ACM0006 abrange projetos que geram eletricidade por meio de fontes renováveis (solar, eólica, hidráulica ou biomassa) e a injetam na rede elétrica. É aplicável sempre que a eletricidade renovável substitui ou reduz o uso de energia proveniente de combustíveis fósseis na rede.

- *AMS-III.H - Recuperação de metano em sistemas de tratamento de resíduos*



A metodologia AMS-III.H se aplica a sistemas que capturam e utilizam o metano gerado na decomposição de resíduos orgânicos (como lodos, efluentes ou resíduos agroindustriais), evitando sua liberação direta à atmosfera.

- *AMS-III.E - Evitar emissões de metano através de compostagem aeróbia*

A AMS-III.E abrange projetos que evitam emissões de metano através do tratamento aeróbio de resíduos orgânicos ou alternativas que impeçam sua decomposição anaeróbia em aterros.

- *AMS-I.C - Sistemas térmicos com/sem eletricidade usando biomassa renovável*

A AMS-I.C aplica-se a projetos que substituem o uso de combustíveis fósseis em sistemas térmicos (caldeiras, secadores, fornos) por biomassa renovável ou biogás, para geração de calor e/ou eletricidade.

- *AMS-III.Y - Manejo de resíduos e aplicação de insumos orgânicos*

A metodologia AMS-III.Y aborda práticas de gestão sustentável de resíduos e aplicação de insumos orgânicos em substituição a fertilizantes sintéticos, considerando a redução de emissões associadas à produção e uso desses insumos.

-Análise jurídica da inserção no mercado de carbono:

O estudo sobre a viabilidade jurídica se dará pela análise de legislações e regulamentações ambientais, a fim de explorar formas de tornar a produção de etanol oriundo da batata uma atividade plenamente sustentável. Entre as leis analisadas, se destaca a Constituição Federal vigente, sobretudo o artigo 225 e a Lei nº 15.042/24, que institui o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões de Gases de Efeito Estufa, além da Lei 133376/17, que dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio). Além disso, serão analisados os compromissos internacionais assumidos pelo Brasil, inicialmente no Protocolo de Kyoto (1997), que foi substituído pelo vigente Acordo de Paris (2015).

Resultados e Discussão

Com a pesquisa pretende-se alcançar resultados significativos no que diz respeito à produção de energia limpa e desenvolvimento sustentável. Primeiramente, acredita-se que ficará demonstrada a viabilidade econômica, ambiental e social da implantação de usina de etanol proveniente de resíduos de batata, amparado juridicamente. Além disso, restará demonstrado como a sustentabilidade dessa atividade pode ir além, incluindo-a no Mercado de Carbono, ou seja, além da produção de etanol limpo o empreendimento colaborará para a redução e remoção de emissões de carbono na atmosfera.

Como o Brasil não possui legislação específica sobre a inserção de atividades agrícolas no Mercado de Carbono, é necessária a realização de projetos e estudos que demonstrem a viabilidade da inclusão desta atividade neste Mercado. Acredita-se que esta pesquisa contribuirá, inclusive, para a elaboração de regulamentos e políticas públicas que incentivem o desenvolvimento da atividade agropecuária sustentável e sua inserção no Mercado de Carbono, em um primeiro momento no município e posteriormente mimetizados para outros e até mesmo em nível estadual.

Considerações finais



O trabalho demonstrará que a atividade agropecuária pode ser uma importante aliada na transição para a economia sustentável e de baixo carbono. A proposta evidenciará o potencial de reprodução do modelo a ser produzido, tanto em nível municipal quanto estadual, e reforça a importância de políticas públicas voltadas à integração do setor agrícola no Mercado de Carbono.

Agradecimentos

Agradecimentos especiais ao grupo de pesquisa InovaBioS, coordenado pelo professor André Gallina, que preza pelo compromisso com a sustentabilidade e a inovação científica. Estendem-se também os agradecimentos à Universidade Estadual do Centro-Oeste – UNICENTRO, pelos recursos e oportunidades oferecidas. A empresa AgroRuiz pela oportunidade de realizar o estudo de caso.

Referências

- AL-HAMAMRE, Z. et al. Wastes and biomass materials as sustainable-renewable energy resources for Jordan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 67, p. 295-314, 2017.
- IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/pr>.
- IBGE. Contas Nacionais. Disponível em <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/39306-com-alta-recorde-da-agropecuaria-pib-fecha-2023-em-2-9>.
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA). *Energy Transition Outlook*. Disponível em: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Outlook>. Acesso em: 2 maio 2025.
- LINS, L. P.; PADILHA, J. C.; FURTADO, A. C.; MITO, J. Y. de L. O aproveitamento energético do biogás como ferramenta para os objetivos do desenvolvimento sustentável. *Interações (Campo Grande)*, v. 23, n. 4, p. 1275–1286, 2022.
- MACHADO, C. M. M.; ABREU, F. R. *Revista de Política Agrícola*, Brasília, DF, ano 15, n. 3, p. 64-78, jul./set. 2006.
- MICHAELOWA, A.; ESPOSITO, R.; BLÜMER, D. The Paris Agreement's Article 6 mechanism: Past, present and future. *Climate Policy*, vol. 20, n. 2, 2020.
- SERRANO, D. P.; SANZ, R.; PIZARRO, P.; MORENO, I.; MEDINA, S. Hierarchical S-1 zeolite as an efficient catalyst for oxidative desulphurization of hydrocarbon fractions. *Applied Catalysis B: Environmental*, v. 146, 2014.
- SOARES, Paula Meyer; KONISHI, Fabio; SILVA, Marcelo Santana; ROCHA, Angela Machado; FERNANDES, Fabio Matos. DO PROALCOOL AO BICOMBUSTIVEL: A SAGA DE UM SETOR. *Revista Interdisciplinar de Pesquisa em Engenharia*, v. 2, n. 1, 2016.



HESPIRIDINA E DIOSMINA COMO ANTIOXIDANTES NATURAIS PARA BIODIESEL

Magno Vinicius de Paula¹, Everson do Prado Bancezk¹, André Lazarin Gallina¹

¹Universidade Estadual do Centro-Oeste do Paraná (UNICENTRO)

Palavras-chave

Flavonoides, Estabilidade Oxidativa, Biocombustível.

Resumo

A hespiridina e a diosmina, são flavonoides extraídos de frutas cítricas e tem potencial para diminuir o processo de oxidação, sendo estudadas mais no campo da medicina, demonstraram potencial ampliado como antioxidantes, visto isso, este trabalho busca viabilizar e testar o uso dos mesmos como antioxidantes para biodiesel, sendo extraídos de produtos naturais poder ser um substituto dos antioxidantes sintéticos, até atualmente utilizados, visto que, o principal problema do biodiesel é a estabilidade oxidativa, com os resultados promissores da hespiridina e diosmina, justamente na parte de diminuir a oxidação elas se tornam viáveis para serem utilizadas na estabilização oxidativa do biodiesel, para caracterização dos compostos será por meio das técnicas de Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC), Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), Índice de Acidez e Índice de Peróxidos, Estabilidade Oxidativa por Rancimat, Espectroscopia UV-Vis, Cromatografia Gasosa Acoplada à Espectrometria de Massas (GC-MS), e com isso, busca-se entender o comportamento da hespiridina e diosmina e concluir se elas foram eficazes na estabilidade oxidativa e se em comparação os sintéticos obtiveram resultados satisfatórios.

Introdução

O biodiesel possui um papel muito importante na matriz energética brasileira, sendo um biocombustível renovável produzido principalmente a partir de óleos vegetais, extraídos por exemplo de soja e gordura de animais (CNA, 2021). Em 2023 o Brasil produziu cerca de 7,5 milhões de metros cúbicos de biodiesel, com cerca de 70% dessa produção sendo utilizado a soja como matéria prima. O uso do biodiesel contribui de forma significativa para a redução das emissões de gases de efeito estufa, promovendo uma matriz energética mais limpa e sustentável (CNA, 2021). Com o aumento da demanda por combustíveis renováveis, aumentou se a demanda do desenvolvimento de novas alternativas cada vez mais sustentáveis, como o biodiesel que vem como alternativa cada vez mais promissora para diminuir o uso do diesel fóssil. No entanto, como qualquer composto, o biodiesel tem limitações técnicas, sendo a mais preocupante a baixa estabilidade à oxidação, que pode comprometer a qualidade durante o armazenamento (KNOTHE, 2007). Para que a oxidação seja minimizada ou extinguida são utilizados em larga escala, antioxidantes sintéticos, mas que possuem algumas restrições do ponto de vista ambientais e toxicológicos (SILVA et al., 2020). Diversos estudos têm investigado o uso de compostos naturais com atividade antioxidante como alternativa aos aditivos sintéticos.

Autores como Bastos (2017) e Silva et al. (2020) demonstraram o potencial de extratos vegetais, taninos e compostos fenólicos oriundos de resíduos agroindustriais como agentes antioxidantes para biodiesel. Por exemplo, extratos de alecrim, chá verde, cravo-da-índia e resíduos de uva têm apresentado bons resultados na estabilização oxidativa do combustível, promovendo não apenas maior segurança toxicológica, mas também ganhos ambientais por aproveitamento de biomassa descartada, assim como



os exemplos citados a hesperidina e a diosmina, também extraídas de frutas cítricas, contribui para o meio ambiente.

Existem alguns compostos pouco explorados como a hesperidina e a diosmina, como antioxidantes naturais. Estes compostos são extraídos principalmente de frutas cítricas, sendo assim uma alternativa ecologicamente correta (GONÇALVES e LIMA, 2019). Os presentes compostos apresentam reconhecida atividade antioxidante e podem contribuir para melhorar a estabilidade de biodiesel.

O potencial antioxidante tem sido objeto de diversos estudos científicos, com resultados promissores para aplicação na estabilização oxidativa de combustíveis renováveis como o biodiesel. A hesperidina, por exemplo, apresenta capacidade comprovada de neutralizar espécies reativas de oxigênio (ROS) e de modular enzimas antioxidantes, como superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e glutatona peroxidase (GPx) (GONÇALVES; LIMA, 2019).

Segundo Selvaraj e Pugalendi (2010), a administração dessa substância em modelos animais resultou na redução da peroxidação lipídica e no aumento da atividade dessas enzimas, evidenciando sua eficácia antioxidante. Bouasla et al. (2017) também destacaram seu efeito protetor frente à toxicidade induzida por metais, atribuindo-lhe propriedades quelantes.

A diosmina, por sua vez, também tem sido investigada pela ação antioxidante. Fernandes et al. (2019) identificaram, em revisão integrativa, que o uso desta substância está associado à elevação da atividade de catalase e SOD, além da redução dos níveis de malondialdeído (MDA), um marcador de estresse oxidativo. Em contextos clínicos simulados, como nos estudos de Vieira (2018), a administração da diosmina resultou em menor dano oxidativo ao tecido cardíaco e menor ocorrência de apoptose celular.

A capacidade desses compostos em prevenir processos oxidativos sugere que podem atuar de forma eficaz como aditivos naturais no biodiesel. Além do efeito protetor, o uso de flavonoides extraídos de resíduos cítricos promove a reutilização de biomassa descartada, agregando valor econômico e ambiental ao processo, em substituição aos antioxidantes sintéticos tradicionais como BHT e TBHQ. (SELVARAJ; PUGALENDI, 2010)

Material e métodos

Obtenção dos antioxidantes

A hesperidina e a diosmina serão adquiridas em grau analítico. Ambas são compostos flavonoides de baixa solubilidade em solventes apolares, apresentando maior solubilidade em soluções hidroalcoólicas e metanólicas.

Assim, antes da adição ao biodiesel, os compostos serão previamente solubilizados em metanol anidro, em concentrações entre 500 e 1000 ppm, garantindo completa dispersão e evitando precipitação durante o processo.

Essa escolha se baseia no estudo de Boschen et al. (2019), que otimizou a incorporação de antioxidantes naturais durante a etapa de transesterificação, utilizando solvente metanólico e catalisador básico. O mesmo princípio será aplicado, aproveitando o meio reacional metanólico para dispersar a hesperidina e a diosmina, reduzindo etapas adicionais e aumentando a eficiência de incorporação.

Produção do biodiesel



O biodiesel será obtido pela reação de transesterificação alcalina de óleo de soja refinado, utilizando metanol e hidróxido de potássio (KOH) como catalisador, na proporção molar óleo:metanol:catalisador de 1:6:0,01.

A reação será conduzida a 60 °C sob agitação magnética por 60 minutos. Após a separação por decantação, a glicerina será removida e o biodiesel bruto purificado conforme protocolo da ANP (Resolução nº 45/2014).

Adição do antioxidante ao biodiesel

Durante a produção, os antioxidantes naturais (hesperidina e diosmina) serão adicionados no início da etapa de transesterificação, conforme proposto por Boschen et al. (2019), permitindo melhor integração molecular e evitando perdas por evaporação, e que a solubilização dos antioxidantes seja mais efetivo visto que os compostos são solúveis no metanol. O biodiesel será lavado com solução aquosa de NaCl 5% para remover traços de catalisador e glicerina residual. Em seguida, será seco com sulfato de magnésio anidro (MgSO₄) e filtrado.

A pureza será verificada por espectroscopia no infravermelho (FTIR) e cromatografia gasosa (GC-MS).al.

Caracterização Físico Química

A utilização de antioxidantes naturais na estabilização oxidativa do biodiesel tem sido objeto de estudo em diversos trabalhos científicos.

Para avaliar a eficácia desses compostos, diferentes técnicas de caracterização físico-química são utilizadas, permitindo identificar, quantificar e acompanhar a degradação dos ésteres metílicos de ácidos graxos (FAMES) ao longo do tempo.

Para caracterizar os compostos será utilizado as seguintes técnicas: Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC), Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR), Índice de Acidez e Índice de Peróxidos, Estabilidade Oxidativa por Rancimat, Espectroscopia UV-Vis, Cromatografia Gasosa Acoplada à Espectrometria de Massas (GC-MS), as presentes técnicas contribuirão para validar os experimentos e a eficácia dos antioxidantes naturais.

Resultados e Discussão

Espera-se que com a adição da hesperidina e diosmina aumente de forma considerável a estabilidade oxidativa do biodiesel, com desempenho comparável ou superior aos antioxidantes sintéticos. O uso desses antioxidantes naturais, contribui para a produção de um biodiesel mais sustentável, menos tóxico e com maior valor agregado, além de fomentar o aproveitamento de resíduos agroindustriais. Após analisar os resultados pretendemos apresentá-los em eventos e publicar artigos das análises e resultados obtidos com a pesquisa.

Agradecimentos

Agradeço a UNICENTRO e Capes. A Prefeitura de Porto Barreiro por meio da Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Proteção Animal e Sustentabilidade, do Fundo Municipal de Meio Ambiente e das Unidades de Conservação Municipais. Ao grupo de pesquisa InovaBioS, que estão contribuindo para o bom andamento do projeto.



Referências

- SILVA, F. M. da et al. **Avaliação da estabilidade oxidativa de biodiesel com antioxidantes naturais.** Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 9, n. 3, p. 104–113, 2020.
- GONÇALVES, R. M.; LIMA, A. S. **Extração de flavonoides de resíduos cítricos: métodos e aplicações.** Química Nova, v. 42, n. 1, p. 108–115, 2019.
- BASTOS, D. H. M. **Compostos fenólicos e atividade antioxidante: uma abordagem molecular.** São Paulo: Manole, 2017.
- KNOTHE, G. **Oxidative stability of biodiesel.** Fuel Processing Technology, v. 88, n. 7, p. 669–677, 2007.
- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (ANP). **Especificações para o biodiesel: Resolução ANP nº 45/2014.**
- CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). **Mercado em foco nº 18: Biodiesel.** Brasília: CNA, 2021. Disponível em: <https://www.cnabrazil.org.br/storage/arquivos/pdf/mercado-em-foco-18-biodiesel.pdf>. Acesso em: 8 maio 2025.
- BOUASLA, A. et al. **Protective effects of hesperidin against lead-induced oxidative stress in the liver of rats.** Environmental Science and Pollution Research, v. 24, p. 15093–15101, 2017.
- FERNANDES, A. S. et al. **Efeitos antioxidantes da diosmina: uma revisão integrativa.** Revista Brasileira de Plantas Mediciniais, v. 21, n. 4, p. 460–467, 2019.
- SELVARAJ, D.; PUGALENDI, K. V. **Hesperidin, a citrus flavonoid, decreases oxidative stress in streptozotocin-induced diabetic rats.** Indian Journal of Pharmacology, v. 42, n. 3, p. 152–156, 2010.
- VIEIRA, M. F. **Avaliação do efeito antioxidante da diosmina em modelo experimental de cardiotoxicidade.** Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.
- ASTM D664. **Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration.** West Conshohocken: ASTM International, 2011.
- ASTM D3703. **Standard Test Method for Peroxide Number of Aviation Turbine Fuels.** West Conshohocken: ASTM International, 2005.
- BOUARROUA, S. et al. **Effect of natural antioxidants on the oxidative stability of biodiesel: A review.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 145, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111064>.
- CHATURVEDI, N. et al. **Bio-based additives for improving oxidative stability of biodiesel: Recent advances and future perspectives.** Fuel, v. 310, 2022. DOI: <<https://doi.org/10.1016>



ANÁLISE DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE UMA USINA FOTOVOLTAICA NO IFPR TELÊMACO BORBA, UTILIZANDO PERFORMANCE RATIO

Marcelo Soares¹

Camila de Brito Miranda Faia¹

¹Universidade Estadual de Maringá

Palavras-chave: Geração distribuída, *Performance* de usinas, *PVSyst*®.

Resumo

Levando em conta a busca por melhoria no desempenho de geração de energia elétrica de uma usina fotovoltaica instalada no Instituto Federal do Paraná (IFPR), no município de Telêmaco Borba, Paraná, desde dezembro de 2024, este trabalho apresenta uma análise de eficiência energética na produção de dessa usina. Para tanto, o objetivo foi avaliar dados registrados via indicadores do sistema por meio de suas faturas de energia elétrica registradas pela companhia de fornecimento local – COPEL, analisar características técnicas por meio de simulador *PVSyst*® 8.0.17 e emitir comparativo por meio da *Performance Ratio* (PR). De maneira que, por meio do PR, foi possível evidenciar parecer de viabilidade técnica da usina, levando em conta as condições locais de irradiação solar, demanda de consumo, energia de ponta, energia fora ponta, resultando em montante de energia injetada no sistema. Assim, foi apresentado o PR ideal da usina em condições normais, confrontando com a *Performance Ratio* real da usina instalada.

Introdução

A busca por eficiência energética e a diversificação da matriz elétrica com fontes renováveis são imperativos globais, sendo particularmente relevantes para o setor público, grande consumidor de energia. No Brasil, a energia solar fotovoltaica emerge como alternativa viável, dada a alta incidência solar na maior parte do território Pinho e Galdino (2014). A implantação de sistemas fotovoltaicos em prédios públicos, além de reduzir despesas operacionais, serve como modelo de adoção de tecnologias sustentáveis, baseado na Lei 10.295/2001.

A demanda por fontes renováveis de energia tem crescido no Brasil em função das políticas de eficiência energética e sustentabilidade em edificações públicas, conforme Pereira (2020). Entre as alternativas como traz Souza e Zilles (2018), a energia solar fotovoltaica tem se destacado como uma solução viável e de rápida implementação. Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (*On-grid*) são regulamentados pela Resolução normativa da ANEEL nº 1000/2021, e atual Lei nº 14.300/2022 (Marco Legal da Geração Distribuída), que estabelecem as condições para micro e minigeração distribuída. Em instituições públicas, a instalação de sistemas fotovoltaicos contribui não apenas para a redução de custos e a eficiência energética como evidência Melo et al., (2021).

Para maior efeito de performance do sistema em estudo, é primordial o uso do indicador de *Performance Ratio* (PR), o qual tem sido o indicador mais utilizado para avaliar a eficiência de usinas de geração fotovoltaica, de acordo o Canal Solar (2022). O índice trata de uma medida de qualidade de um sistema fotovoltaico, apresentado em forma percentual, derivando da relação entre o rendimento real e o rendimento esperado do sistema Fotovoltaico (FV). Para tanto, com objetivo de obter a eficácia



energética e a confiabilidade do sistema FV é possível por meio da PR encontrar o seu rendimento. Dessa forma, será primordial para este estudo o uso de um simulador robusto e eficaz para o dimensionamento de usinas fotovoltaicas recomendadas por Gomes et.al., (2023) o *software PVSystem®*, o qual, tem sido amplamente empregado para analisar a sensibilidade da geração de energia de projetos. Este, considera diferentes dados meteorológicos e avalia o impacto das variações sazonais na produtividade do sistema, além de evidenciar a eficiência energética.

Materiais e Métodos

O estudo baseou-se na metodologia de análise técnica recomendada pela ABNT NBR 16.690:2020, por meio dos registros de faturamento de energia elétrica (COPEL) num período de dez meses de geração útil, bem como, foram adotados critérios de desempenho energético utilizando o simulador *PVSystem®* 8.0.17 (2025). O sistema fotovoltaico instalado no IFPR possui potência nominal de 60 kWp, composto por 109 módulos de 550Wp conectados a um inversor trifásico de 60kW, instalado sobre o telhado do bloco didático do IFPR Telêmaco Borba, PR. A irradiação solar média anual de Telêmaco Borba é de 4,69 kWh/m².dia CRESEB-CEPEL (2025). O cálculo da geração anual realizado com base no fator de desempenho (*Performance Ratio*) PR conforme NBR 16690:2020.

Para o cálculo do *Performance Ratio*, de uma usina fotovoltaica com módulos convencionais foi utilizado a fórmula $PR = \text{Energia gerada (kWh)} / \text{Energia esperada (kWh)} \times 100\%$. Com a qual nesse estudo a Energia gerada foi coletado nas faturas dos meses de janeiro a outubro de 2025, quanto a Energia esperada foi obtida a partir do simulador *PVSystem®*, no período de um ano. Para efeito do estudo foram considerados os meses de janeiro a outubro. Lembrando que esse período de 10 meses foi em decorrência da usina entrar em funcionamento em dezembro de 2024.

A usina está instalada sob a edificação do Instituto Federal do Paraná, campus Telêmaco Borba, PR, identificada como Bloco Didático, a qual conta com 273 m², possui 20 salas de aula, com estrutura de térreo e mezanino, com estrutura metálica de sustentação do telhado o qual comporta a usina fotovoltaica. Os dados de geração elétrica e demais informações pertinentes ao desempenho da usina, foram coletados das faturas de energia elétrica da concessionária de energia elétrica da região – COPEL entre os meses de janeiro de 2025 e outubro de 2025. Sendo o perfil do consumidor é do Grupo A, com tarifa horo-sazonal verde conforme resolução ANEEL.

Resultados e discussões

Como resultados, temos a Tabela 1 da simulação no *PVSystem®* 8.0.17, onde é possível visualizar os dados de uma usina ideal com todas as configurações locais de dados meteorológicos e o impacto das variações sazonais na produtividade do sistema no período dos meses de janeiro a outubro, bem como, a energia elétrica a ser produzida na localidade onde está instalada a usina do IFPR.

Em seguida, na Tabela 2 são demonstrados os dados coletados das faturas do IFPR emitidas pela concessionária COPEL, referentes aos meses de janeiro a outubro de 2025, levando em conta que a usina iniciou suas operações em meados do dezembro de 2024.

Dessa forma, temos um comparativo da Energia ideal pelo simulador e de Energia Injetada no sistema da COPEL, utilizando a fórmula recomendada pela norma ABNT NBR 16690:2020, temos a PR do simulador *PVSystem®* (PR Ideal) comparado ao PR da Usina do IFPR apresentado no Gráfico 1.



A partir do Gráfico 1 é possível analisar as características da eficiência energética de uma usina ideal em comparação a uma usina real em funcionamento, definindo assim as características da performance de geração de energia elétrica de um sistema fotovoltaico.

Tabela 1 – *Performance Ratio* da Usina Ideal - Simulação *PVSyst*®

Mês (Ano 2025)	Energia Ideal (kWh)	Energia Ideal - Perdas (kWh)	PR Ideal
Janeiro	11.138	8.521	0,765
Fevereiro	10.407	8.014	0,770
Março	10.996	8.434	0,767
Abril	11.001	8.504	0,773
Maió	10.112	8.019	0,793
Junho	8.609	7.068	0,821
Julho	10.496	8.345	0,795
Agosto	10.878	8.605	0,791
Setembro	10.538	8.283	0,786
Outubro	10.868	8.499	0,782
Performance Ratio da Usina ideal IFPR - <i>PVSyst</i>®			0,784 (78,4%)

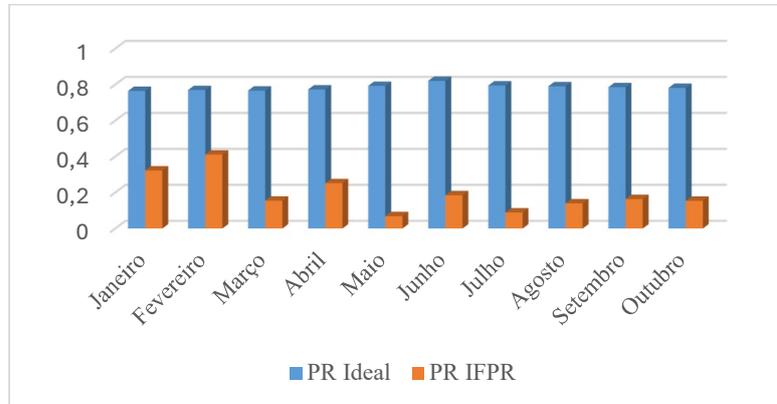
Fonte: Simulador de geração fotovoltaica – *PVSyst*® – Adaptado pelo Autor.

Tabela 2 – *Performance Ratio* da Usina IFPR

Mês (Ano 2025)	Energia Ideal <i>PVSyst</i> ® (kWh)	Energia Injetada COPEL (kWh)	PR IFPR
Janeiro	8.521	2.753	0,323
Fevereiro	8.014	3.294	0,411
Março	8.434	1.309	0,155
Abril	8.504	2.150	0,252
Maió	8.019	554	0,069
Junho	7.068	1301	0,185
Julho	8.345	748	0,089
Agosto	8.605	1222	0,140
Setembro	8.283	1360	0,164
Outubro	8.499	1317	0,154
Performance Ratio da Usina IFPR			0,194 (19,4%)

Fonte: Resultado simulador *PVSyst*® e Faturas de energia IFPR

Gráfico 1 – Comparativo de *Performance Ratio*: Ideal (*PVSyst*®) x IFPR



Fonte: Próprio Autor

Considerações finais

O objetivo de analisar a eficiência da usina fotovoltaica do IFPR Telêmaco Borba, utilizando o *Performance Ratio*, foi plenamente atingido. A comparação entre o desempenho ideal simulado pelo *PVSyst®* (PR médio de 0,784) e o desempenho real (PR médio de 0,194) revelou uma discrepância crítica e um desempenho inferior a 25% do esperado. Este baixo desempenho do PR indica, a existência de falhas operacionais e/ou de componentes que resultam em perdas energéticas severas. Sob a ótica de eficiência energética, o sistema exige ações técnicas, como: Verificação de possíveis erros na medição e faturamento, falhas críticas relacionadas ao inversor e demais componentes, sobreamento ou degradação do sistema. Essa análise serve como alerta fundamental para gestão de ativos fotovoltaicos em instituições públicas, indicando uma perda financeira significativa. Recomendando-se, para trabalhos futuros, a implementação de monitoramento em tempo real e a realização de análise sugeridas pela norma ABNT NBR 16274:2014.

Agradecimentos

Agradeço a CAPES pelas contribuições que nos auxiliam na pesquisa. Agradeço muito ao Instituto Federal do Paraná pela possibilidade em realizar a pesquisa nas suas instalações.

Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa nº 1000**, de 07 de dezembro de 2021. Estabelece regras de prestação de serviço público de distribuição de energia elétrica. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 DEZ. 2021;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16274:2014**: Sistema fotovoltaicos conectados à rede – Requisitos mínimos para documentação, ensaios de comissionamento, inspeção e avaliação de desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2014;
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16690:2020**: Sistema de conversão fotovoltaica de energia solar -Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2020;
- CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB). **CRESESB-Centro de Referência para Energia Solar e Eólica**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em <http://cresesb.cepel.br/>. Acesso em: 22 out. 2025.



- BRASIL. **Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001.** Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 out. 2001;
- BRASIL. **Lei nº 14.300, de 06 de janeiro de 2022.** Dispõe sobre Marco Legal da Geração Distribuída. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 05 ago. 2022;
- CANAL SOLAR. Canal Solar 2025. Disponível em <http://canalsolar.com.br/dimensionamento-de-sistemas-fotovoltaicos-para-o-grupo-a/>. Acesso em 15 de out. 2025;
- GOMES, A.D.; PEREIRA, da C. A.; DA SILVA, S. J. **Análise de um sistema fotovoltaico: Com base em dados de entrada e utilização do software PVSystem®:** Amazon, 2023;
- MELO, T.A.; FERREIRA, L.; LIMA, C. R. Geração distribuída fotovoltaica em instituições públicas de ensino. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v.10, n. 3. 2021;
- PEREIRA, E. **Avaliação de desempenho energético de usinas fotovoltaicas em instituições públicas.** Dissertação – UFRN, 2020;
- PINHO, J. T.; GALDINO, M.A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.**, Rio de Janeiro, 2014;
- SOUZA, L.A.; ZILLES, R. **Energia Solar Fotovoltaica: Tecnologia e Aplicações.** EdUSP, São Paulo, 2018.



PENETRAÇÃO DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM REDES ELÉTRICAS

Eduardo Hideki Kondo¹, Camila de Brito Miranda Faia¹

¹Universidade Estadual de Maringá.

Palavras-chave

Fluxo reverso, qualidade de energia, distribuição, regulamentação.

Resumo

A inversão de fluxo é caracterizada pela operação da rede elétrica de distribuição com potência no sentido da carga para a alimentação. Embora seja usada pela ANEEL como justificativa para impedir a conexão de novos geradores, seus efeitos negativos podem ser contornados. O presente trabalho simula e avalia o impacto da penetração de geração distribuída fotovoltaica (GD) em uma rede elétrica. Os resultados indicaram que o aumento da GD e a ocorrência de fluxo reverso não afetaram os indicadores de qualidade de energia analisados. O estudo conclui que a operação em fluxo reverso é viável para o caso estudado, mas os resultados não devem ser generalizados.

Introdução

Níveis elevados de penetração de geração distribuída (GD) nas redes de distribuição resultam em condições atípicas de operação, como o fluxo reverso, caracterizado pela exportação de energia nos alimentadores e nos postos de transformação. A inversão de fluxo é atribuída a distúrbios elétricos pela regulamentação atual, sendo considerada pela Agência Nacional de Energia Elétrica como impeditivo para conexão de novos geradores às redes elétricas (ANEEL, 2023). Contudo, o fluxo reverso é uma consequência natural da penetração de GD e diversos estudos já constatarem a possibilidade de contornar seus efeitos negativos (Teixeira *et al.*, 2019; Shen *et al.*, 2021; Stephen *et al.*, 2022; Mahato *et al.*, 2021; Shigdar *et al.*, 2024).

Majeed e Nwulu (2022) definem a penetração de GD (D) conforme demonstra a Equação (1), em que S_{GD} [kVA] é a potência aparente total dos geradores conectados ao trecho de rede e L_T [kVA] é a carga máxima no alimentador ou transformador de atendimento do trecho.

$$D = \frac{S_{GD}}{L_T} \times 100 [\%] \quad (1)$$

Tal definição foi usada neste trabalho, que avalia a qualidade da energia em um modelo de rede distribuição operando com diferentes níveis de penetração de GD, inclusive em fluxo reverso.

Material e métodos

A metodologia deste estudo consistiu em simular a operação horária de uma rede de distribuição trifásica, com um alimentador de 34,5 kV para atendimento a um pequeno centro urbano fictício, variando gradualmente a conexão de sistemas fotovoltaicos (SFVs) para observar 7 níveis de penetração no intervalo de 0 % a 150 %. Os SFVs foram modelados para fornecer energia reativa nos



momentos de pico de geração, a fim de controlar o fator de potência (fp) da rede. Transformadores de distribuição foram conectados aos ramais ao longo do tronco (Figura 1), alimentando as cargas de baixa tensão (BT) em 220/127 V e 60 Hz. Cargas de média tensão (MT) também foram incluídas. A rede foi dimensionada com base nos dados do Balanço Energético Nacional (EPE, 2025) e do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2025), vide Tabela 1.

O simulador selecionado foi o OpenDSS, por se tratar de um *software* de código aberto com alta capacidade de fornecer dados úteis para análises de redes. Desta forma, pode-se obter resultados instantâneos da operação da rede, medidos a intervalos de 10 minutos, conforme exigido nos Procedimentos de Distribuição (PRODIST) (ANEEL, 2021). Adaptações nas equações do PRODIST foram feitas, para que o período considerado no cálculo dos indicadores correspondesse a um dia (144 leituras), visto que as simulações foram configuradas no modo diário.

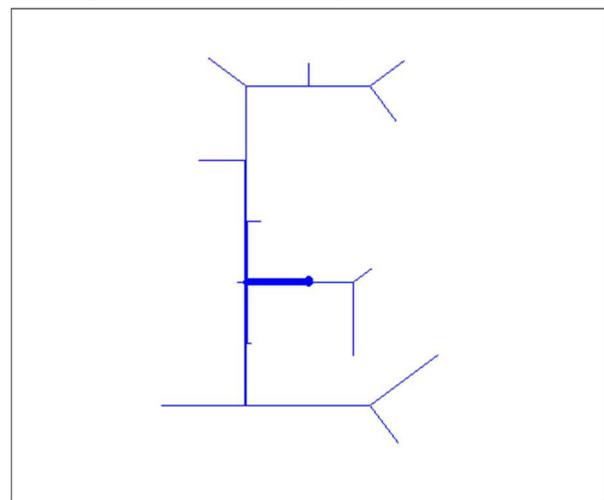
Tabela 1 - Elementos da rede modelada.

Elemento	Quantidade
Barras	117
Linhas	102
Transformadores	39
Bancos de capacitores	12
Cargas BT*	51
Cargas MT*	6
UCs equivalentes	5.632
SFVs	54
Monitores de energia	143

*Cargas trifásicas desequilibradas.

Fonte: Autoria própria.

Figura 1 - Modelo espacial do circuito.



Fonte: Autoria própria.

Definiu-se 41 unidades consumidoras aleatoriamente para realização das medições, conforme os ditames da ANEEL, além dos medidores próprios da subestação.

Resultados e Discussão

O simulador resolveu com sucesso o circuito modelado para todos os cenários propostos. Os dados instantâneos da rede foram exportados e interpretados por um código *python*. No total, foram analisados 1.001 monitores de energia, com 144.144 conjuntos de métricas, possibilitando o cálculo dos indicadores de variação de tensão (DRP e DRC), fator de potência (fp), desequilíbrio de tensão (FD95%) e flutuação de tensão ($P_{st95\%}$) para cada leitura realizada. Por fim, tirou-se a média dos indicadores obtidos para cada cenário de penetração e reuniu-se os resultados na Tabela 2.

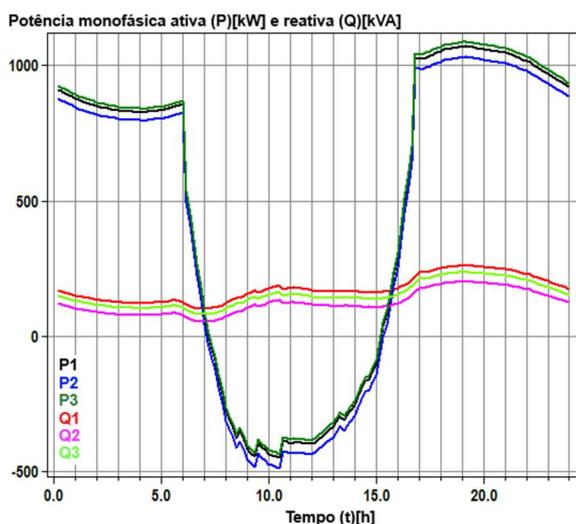
Tabela 2 - Resultados dos indicadores de qualidade de energia por nível de penetração de GD (D).

Indicador	D=0 %	D=25 %	D=50 %	D=75 %	D=100 %	D=125 %	D=150 %
DRP _{médio}	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
DRC _{médio}	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
f _p _{médio}	0,9382	0,9582	0,9638	0,9732	0,9079	0,9685	0,9811
FD95% _{médio}	0,2350 %	0,2338 %	0,2332 %	0,2330 %	0,2327 %	0,2327 %	0,2327 %
P _{st} 95% _{médio}	0 pu						
Fluxo Reverso	Não	Não	Não	Não	Local	Global	Global

Fonte: Autoria própria.

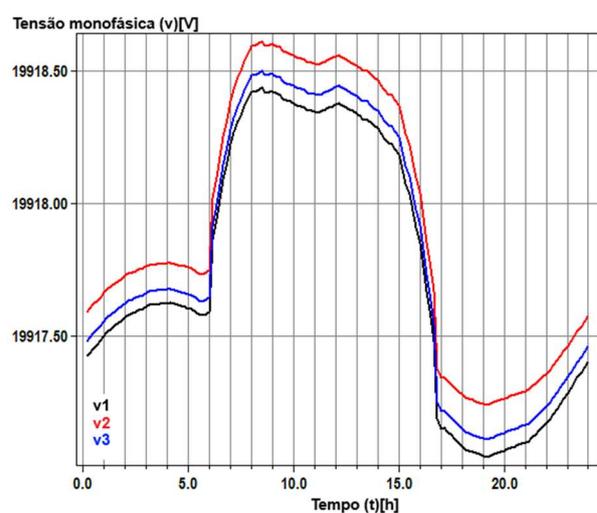
O estudo demonstrou que, para os indicadores e cenários analisados, o aumento de GD fotovoltaica não acarretou transgressões significativas no desempenho geral da rede analisada, constatando até melhorias nos indicadores de fator de potência e de desequilíbrio de tensão. Além disso, não foi observada relação entre a operação em fluxo reverso e o nível dos indicadores. A compensação de reativos dos SFVs tornou possível o controle manual do fator de potência médio observado na subestação, vide Figura 2. Na prática, esta é uma função automática dos inversores inteligentes. No tocante às tensões do sistema, apesar da GD ter provocado um aumento considerável dos níveis nos horários de maior potencial solar (Figura 3), nenhuma leitura apontou transgressão da faixa adequada (de 18,52 kV a 20,91 kV para MT e de 117 V a 133 V para BT, monofásicos). Em virtude disso, os indicadores de variação de tensão ficaram zerados.

Figura 2 - Potências ativa e reativa na subestação com D em 150 %.



Fonte: Autoria própria.

Figura 3 - Tensões na subestação com D em 150 %.



Fonte: Autoria própria.



Considerações finais

O estudo demonstrou a viabilidade de operação da rede em fluxo reverso, com base nos indicadores de fator de potência, variação, desequilíbrio e flutuação de tensão do PRODIST. No entanto, análises de indicadores de distorções harmônicas e de variação de frequência da rede também são necessárias para o pleno atendimento às determinações da norma. Além disso, as conclusões obtidas não devem ser generalizadas visto que dependem fortemente das características elétricas e construtivas de cada trecho de rede de distribuição.

Agradecimentos

Agradeço à Universidade Estadual de Maringá, ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, que apoiaram e possibilitaram a elaboração deste trabalho.

Referências

- ANEEL. **Resolução Normativa nº 1.059/2023**. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.html>>. Acesso em: 8 jul. 2024.
- ANEEL. **Resolução Normativa nº 456/2021**. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2021956.html>>. Acesso em: 8 jul. 2024.
- EPE. **Balanco Energético Nacional**. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>>. Acesso em: 21 out. 2025.
- MAHATO, G. C. et al. A Review on High PV Penetration on Smart Grid: Challenges and its Mitigation using FPPT. **1st International Conference on Power Electronics and Energy (ICPEE)**, p. 1–6, 2 jan. 2021.
- MAJEED, I. B.; NWULU, N. I. Impact of Reverse Power Flow on Distributed Transformers in a Solar-Photovoltaic-Integrated Low-Voltage Network. **Energies**, v. 15, n. 23, p. 9238, 1 jan. 2022.
- ONS. **Boletim Geração Solar**. Disponível em: <<https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/boletim-geracao-solar.aspx>>. Acesso em: 21 out. 2025.
- SHEN, Z. et al. The Control Strategy for the Adaptive Reactive Voltage of Low and Medium Voltage Distribution Network with High Photovoltaic Penetration. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 657, p. 012103, 20 fev. 2021.
- SHIGDAR, B. et al. Load Flow Analysis and Optimization for Solar PV Integration in Power Systems. **21st Learning and Technology Conference (L&T)**, 15 jan. 2024.
- STEPHEN, A. A.; MUSASA, K.; DAVIDSON, I. E. Enhancement of Large Renewable Distributed Generation Penetration Levels at the Point of Common Coupling. **Energy Engineering**, v. 119, n. 6, p. 2711–2744, 2022.
- TEIXEIRA, L. G. et al. The Effect of Local Inverter Voltage Control in Technical Losses on Low Voltage of a Brazilian Distribution Feeder with Increasing PV Penetration. **IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America (ISGT Latin America)**, v. 1, p. 1–6, 1 set. 2019.



MODELAGEM COMPUTACIONAL HÍBRIDA DA TRANSESTERIFICAÇÃO LIPÍDICA DA MOSCA-SOLDADO-NEGRO (*HERMETIA ILLUCENS*): INTEGRAÇÃO DE REDES NEURAI E SIMULAÇÃO REACIONAL PARA BIOQUEROSENE SUSTENTÁVEL NA AVIAÇÃO (SAF)

Josenei Godoi de Medeiros¹

Marcia Staudt²

Edson Luiz da Silva³

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE

²Universidade Estadual de Maringá – UEM

³Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE

Palavras-chave

bioquerosene, biorrefinaria, hidroprocessamento, simulação numérica

Resumo

O estudo tem como finalidade desenvolver uma modelagem computacional, com base físico-química, para representar a transesterificação etanólica do óleo de *Hermetia illucens*, articulada à etapa subsequente de hidroprocessamento do tipo HEFA (Ésteres e Ácidos Graxos Hidroprocessados) para obtenção de SAF (Combustível Sustentável de Aviação). A abordagem considera a razão molar etanol:óleo igual a 6:1 na etapa alcoólica sob catálise alcalina, parâmetros de alimentação ao HEFA com razão hidrogênio: éster compatível com a conversão em hidrocarbonetos do corte C9-C15 e verificação de aderência às especificações de densidade, viscosidade e ponto de fulgor. O procedimento integra descrição matemática dos balanços com predição por redes neurais artificiais (modelos de regressão não linear), validação final com modelos de análise estatística, visando a consistência numérica e a conformidade com requisitos normativos aplicáveis ao bioquerosene em biorrefinaria. Espera-se que o estudo forneça um modelo de previsão capaz de representar o comportamento reacional sob diferentes condições operacionais, permitindo identificar regiões de estabilidade térmica e estimar parâmetros de desempenho que possam orientar o escalonamento do processo e a otimização das condições de conversão em sistemas contínuos.

Introdução

A substituição parcial do querosene fóssil por frações de origem renovável exige rotas capazes de reproduzir propriedades físico-químicas compatíveis com o uso aeronáutico, sob processos de qualificação definidos pela ASTM D7566 e por diretrizes de sustentabilidade e monitoramento vigentes no setor de aviação (ASTM International, 2025). A biomassa lipídica de *Hermetia illucens* apresenta predominância de ácidos graxos de cadeia média e constitui matéria-prima adequada para sequências



que compreendem transesterificação etanólica seguida de hidroprocessamento, desde que as condições reacionais e de separação produzam correntes dentro dos limites de especificação do SAF. A literatura de cinética de transesterificação consolidou descrições de referência para óleos vegetais, as quais estabelecem relações entre temperatura, razão molar álcool:óleo e atividade catalítica em sistemas homogêneos (Freedman; Butterfield; Pryde, 1986; Meher; Vidya Sagar; Naik, 2025). Quanto à etapa de hidroprocessamento, a literatura descreve mecanismos concorrentes de hidroxidação e hidrocrackamento sob consumo de hidrogênio, os quais determinam a distribuição de hidrocarbonetos no intervalo de cadeia adequado ao bioquerosene do tipo HEFA (IEA, 2021; Pominville-Racette *et al.*, 2025). Nesse contexto, a presente investigação busca integrar modelagem diferencial e predição computacional com avaliação de incertezas e estabilidade, mantendo aderência às práticas de modelagem e simulação previstas em documento normativo aplicável a sistemas cinéticos e aos indicadores técnico-econômicos de projeto de processos (Turton *et al.*, 2018).

O objetivo geral consiste em desenvolver uma modelagem computacional que represente a conversão lipídica da *Hermetia illucens* em bioquerosene a partir de uma biorrefinaria, integrando a transesterificação etanólica ao módulo conceitual HEFA e assegurando conformidade com as especificações do SAF (Combustível Sustentável de Aviação). Pretende-se formular as equações diferenciais de balanço de massa e energia da etapa alcoólica, ajustar parâmetros cinéticos a partir de dados de literatura e empregar redes neurais artificiais (RNA) para predição em regiões com baixa densidade de dados experimentais. O modelo fornecerá base para a avaliação técnico-econômica integrada, abrangendo balanços consolidados de massa e energia e estimativas de investimento e operação (CAPEX e OPEX). A partir dessas simulações, serão determinados indicadores de viabilidade, preço mínimo de venda (MSP), valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR), permitindo a comparação da rota entomotecnológica com o querosene fóssil e demais rotas de SAF, conforme diretrizes de Turton *et al.* (2018).

Material e métodos

A formulação matemática baseia-se em balanços diferenciais de massa e energia para a transesterificação etanólica em regime de batelada, com razão molar etanol:óleo igual a 6:1 e catálise alcalina sob condições isotérmicas típicas de óleos de cadeia média. O ajuste de parâmetros e a identificação de tendências são realizados por regressão multivariada, com dados de óleos análogos e, de forma referencial, resultados experimentais de *H. illucens* com etanol anidro (Braniz, 2023), respeitado o domínio de validade. Para predição em regiões com poucos dados, empregam-se redes neurais artificiais (RNA) com regularização, capazes de representar a interação entre temperatura, razão molar e concentração catalítica. Quando necessário, a incerteza de parâmetros é estimada por *bootstrap* (reamostragem com reposição), assumindo independência das observações. Após o ajuste, aplica-se análise estatística com intervalos de confiança para determinar a conversão e as propriedades de interesse, verificando conformidade com densidade (15 °C), viscosidade (40 °C) e ponto de fulgor, conforme ASTM D7566 (ASTM International, 2025). O módulo HEFA é descrito conceitualmente como reator de leito fixo com consumo de hidrogênio e reações de hidroxidação e hidrocrackamento, seguindo descrições tecnológicas consolidadas (IEA, 2021; Pominville-Racette *et al.*, 2025). A avaliação técnico-econômica é sintetizada por metodologia de custo mínimo de produção e balanço de utilidades, conforme práticas de projeto de processos (TURTON *et al.*, 2018).



Resultados e Discussão

Espera-se que a modelagem reproduza a dependência monotônica entre temperatura e taxa de conversão na etapa alcoólica, com efeitos de saturação da razão molar etanol:óleo em torno do valor de referência 6:1 e influência mensurável da concentração catalítica sobre o regime inicial de reação, em concordância com perfis descritos na literatura de transesterificação (Freedman; Butterfield; Pryde, 1986; Meher; Vidya Sagar; Naik, 2025). A predição por redes de regressão não linear deve recuperar tendências em regiões sem observação direta, desde que o domínio de extrapolação permaneça restrito. A comparação referencial com dados experimentais de *H. illucens* obtidos com etanol anidro e catálise alcalina permite verificar coerência de sinais e de curvaturas, sem necessário reporte de valores numéricos nesta etapa (Braniz, 2023). A aplicação de *Monte Carlo (Simulação Estocástica)*, ao término do processo de ajuste, fornece intervalos de confiança para conversão e para propriedades correlacionadas às janelas de densidade, viscosidade e ponto de fulgor exigidas para o SAF, possibilitando estimar a probabilidade de atendimento normativo sob variações realistas das condições de operação (ASTM International, 2025; IEA, 2021). No âmbito da etapa HEFA, a adoção de relação molar hidrogênio:éster compatível com a literatura tecnológica conduz a distribuições de hidrocarbonetos no corte C9–C15, cuja conversão em propriedades finais segue discussões consolidadas sobre biodiesel, diesel renovável e combustíveis de aviação (IEA, 2021; Knothe, 2010; Pominville-Racette *et al.*, 2025). A apreciação econômico-energética, ainda em caráter preliminar, utiliza metodologia de custo de produção e estimativas de utilidades, permitindo identificar sensibilidade a consumo de solvente, recuperação de hidrogênio e aproveitamento de coprodutos, em conformidade com práticas de projeto (Turton *et al.*, 2018).

A etapa de análise de sensibilidade será conduzida com base em variações controladas dos parâmetros operacionais e de entrada, permitindo identificar variáveis de maior impacto sobre a conversão e a eficiência térmica. Essa abordagem fornece base quantitativa para o posterior escalonamento do processo e para a integração da modelagem técnico-econômica, garantindo consistência entre a previsão computacional e os limites físico-químicos de operação.

Considerações finais

A integração entre a modelagem diferencial da transesterificação etanólica e a predição por redes neurais artificiais (RNA) constitui o núcleo da proposta, permitindo descrever o comportamento do sistema sob variação controlada de temperatura, razão molar e carga catalítica. A estratégia amplia o domínio de validade do modelo e viabiliza a análise de desempenho do processo com conjuntos limitados de dados, assegurando conformidade com as propriedades físico-químicas exigidas para o SAF. A incorporação do módulo conceitual HEFA situa a modelagem dentro do percurso tecnológico reconhecido para o bioquerosene, em acordo com as faixas de densidade, viscosidade e ponto de fulgor definidas pela ASTM D7566. O prosseguimento do estudo compreenderá o refinamento do modelo, a consolidação dos balanços de massa e energia e a aplicação da avaliação técnico-econômica integrada, envolvendo estimativas de investimento e operação (CAPEX e OPEX) e cálculo dos indicadores de viabilidade, MSP, VPL e TIR, possibilitando comparar a rota entomotecnológica com alternativas industriais consolidadas de produção de SAF.

Agradecimentos



O autor agradece à Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) e à Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná pelo apoio institucional e financeiro concedido à pesquisa.

Referências

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D7566-23a - Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons. West Conshohocken, PA, 2025. Disponível em: <https://www.astm.org/d7566-23a.html>.

BRANIZ, Taysa de Souza. **Extração de lipídios da microalga *Poterioochromonas malhamensis*, visando à produção de biodiesel pela reação de transesterificação in situ.** 2023. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2023. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/7575>.

FREEDMAN, Bernard; BUTTERFIELD, Royden O.; PRYDE, Everett H. Transesterification kinetics of soybean oil 1. [s. l.], vol. 63, nº 10, p. 1375–1380, 1986.

IEA. **Bioenergy Task 39: Sustainable Aviation Fuels: Status, Challenges and Opportunities.** Paris: [s. d.], 2021. Disponível em: <https://task39.ieabioenergy.com/publications/>.

KNOTHE, Gerhard. Biodiesel and renewable diesel: A comparison. **Progress in Energy and Combustion Science**, [s. l.], vol. 36, nº 3, p. 364–373, 2010.

MEHER, L. C.; VIDYA SAGAR, D.; NAIK, S. N. Technical aspects of biodiesel production by transesterification. [s. l.], vol. 10, p. 248–268, 2025.

POMINVILLE-RACETTE, Mathieu *et al.* Hydroprocessed Ester and Fatty Acids to Jet: Are We Heading in the Right Direction for Sustainable Aviation Fuel Production?. [s. l.], vol. 18, nº 15, 2025.

TURTON, Richard *et al.* **Analysis, synthesis, and design of chemical processes.** Fifth edition. Boston Columbus Indianapolis New York San Francisco Amsterdam: Prentice Hall, 2018. (Prentice Hall international series in the physical and chemical engineering sciences).



MODELAGEM COMPUTACIONAL DE PROCESSOS REACIONAIS DA MICROALGA *POTERIOOCHROMONAS MALHAMENSIS* APLICADOS À PRODUÇÃO DE BIOQUEROSENE SUSTENTÁVEL PARA AVIAÇÃO (SAF)

Josenei Godoi de Medeiros¹

Márcia Staudt²

Edson Luiz da Silva³

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE

²Universidade Estadual de Maringá – UEM.

³Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE

Palavras-chave

Poterioochromonas malhamensis; bioquerosene; extração lipídica; modelagem numérica

Resumo

O presente resumo descreve uma proposta de desenvolvimento de modelagem numérica físico-química que represente a rota reacional microalgal para produção de bioquerosene de aviação (SAF) compreendendo o cultivo → extração lipídica → transesterificação *in situ* → pré-tratamento → hidroprocessamento (HEFA) aplicadas à microalga *Poterioochromonas malhamensis*. A proposta integra: formulação de balanços diferenciais de massa e energia para as etapas de extração e conversão; calibração paramétrica com dados experimentais obtidos de literatura especializada; procedimentos de identificação paramétrica em ambiente Python; avaliação de conformidade do destilado frente a especificações de densidade (15°C), viscosidade (40°C) e ponto de fulgor exigidas para SAF pelas normativas internacionais e nacionais de caracterização aplicáveis. Espera-se obter mapas operacionais que identifiquem janelas de operação que maximizem rendimento lipídico e minimizem severidade de hidroprocessamento, oferecendo insumo técnico para avaliação de viabilidade técnico-operacional da rota microalgal. Dados experimentais e faixas operacionais usados como validação encontram-se relatados na literatura específica sobre *P. malhamensis* e em trabalhos experimentais como o de Braniz (2023). Como resultado, prevê-se a obtenção de parâmetros cinéticos ajustados e superfícies de resposta (temperatura, razão álcool:biomassa, carga catalítica), estimativas de consumo de H₂ e distribuição C₉–C₁₅ compatíveis com a ASTM D7566, além de indicadores preliminares de CAPEX/OPEX, MSP, VPL e TIR. Adicionalmente, espera-se a identificação de pontos e faixas operacionais ótimos por otimização numérica (maximização de conversão e minimização de severidade no HEFA), com cenários e intervalos de confiança derivados das simulações, sem necessidade de ensaios.



Introdução

A produção de combustível aeronáutico com matrizes renováveis requer que a alimentação microalgal forneça cortes C9–C15 com densidade, viscosidade e ponto de fulgor dentro das faixas para turbinas, impondo modelagem que incorpore resistências de transferência, teor de água e frações polares que limitam acessibilidade lipídica, conversão e severidade de hidroprocessamento (ASTM International, 2023; Mubarak; Shaija; Suchithra, 2015). Tomando *Poterioochromonas malhamensis* como referência, adotam-se faixas empíricas de calibração por ensaios de rendimento e perfil de ácidos graxos, comparáveis a critérios de elegibilidade do combustível de aviação (Braniz, 2023). A literatura de transesterificação define relações entre temperatura, razão etanol:óleo e concentração catalítica em sistemas homogêneos, além de efeitos difusionais em reações *in situ*, permitindo estimativas de constantes e energias de ativação (Leung; Wu; Leung, 2010; Mandari; Devarai, 2022). No HEFA, hidredesoxigenação e hidrocrackeamento, regulados por pressão de H₂ e tempo de residência, determinam a distribuição de hidrocarbonetos e a isomerização necessária às propriedades de combustão e limites de aromaticidade (IEA, 2021). Integram-se modelagem e predição com verificação e análise de sensibilidade, alinhadas a especificações e práticas de projeto, para definir janelas operacionais e requisitos de pré-tratamento (Nayak; Das; Singh, 2024; Turton et al., 2018). Objetiva-se um modelo computacional integrado para transesterificação e HEFA em biomassa microalgal, calibrado por dados experimentais e normativos, a fim de estimar desempenho termodinâmico e reacional e identificar condições que maximizem a conversão lipídica com conformidade às propriedades exigidas para SAF.

Material e métodos

A metodologia utilizada compreende as etapas cultivo → extração lipídica → transesterificação *in situ* → pré-tratamento → hidroprocessamento HEFA aplicadas à microalga *Poterioochromonas malhamensis*. A formulação matemática baseia-se em balanços diferenciais de massa e energia para a transesterificação etanólica, com razão molar etanol:óleo 6:1 e catálise alcalina sob condições isotérmicas típicas. O ajuste de parâmetros e a identificação de tendências são realizados por regressão multivariada usando dados de óleos análogos e, referencialmente, resultados com etanol anidro (Braniz, 2023), respeitando o domínio de validade. Para predição em regiões com poucos dados, empregam-se redes neurais artificiais (RNA) com regularização, capazes de representar a interação entre temperatura, razão molar e concentração catalítica. Quando necessário, a incerteza de parâmetros é estimada por bootstrap e por simulação de Monte Carlo, assumindo independência e propagando distribuições de condições iniciais e constantes aparentes. Após o ajuste, aplica-se análise com intervalos de confiança para determinar a conversão e as propriedades, verificando conformidade com densidade (15°C), viscosidade (40°C) e ponto de fulgor, conforme a especificação ASTM D7566 (ASTM International, 2025). O módulo HEFA é descrito como reator de leito fixo com consumo de hidrogênio e reações de hidredesoxigenação e hidrocrackeamento, seguindo descrições tecnológicas (IEA, 2021; Pominville-Racette *et al.*, 2025). A avaliação técnico-econômica é sintetizada por metodologia de custo mínimo de produção e balanço de utilidades, com sensibilidade a hidrogênio e recuperação de solvente, conforme práticas de projeto de processos (Turton *et al.*, 2018).



Resultados e discussão

Prevê-se, para a rota microalgal, a dependência entre temperatura e conversão na transesterificação etanólica, com saturação mensurável da razão etanol:biomassa e influência nítida da base catalítica sobre a cinética inicial, em acordo com perfis de sistemas homogêneos (Freedman; Butterfield; Pryde, 1986; Meher; Vidya Sagar; Naik, 2006, 2025). A predição treinada no domínio de dados experimentais extraídos da literatura da *Poterioochromonas malhamensis*, deverá recuperar tendências em regiões sem observação direta, desde que a extrapolação permaneça contida e os hiperparâmetros inibam sobreajuste (Braniz, 2023). A comparação cruzada entre a curva simulada e regimes de óleos de cadeia média verificará coerência de sinais, curvaturas e platôs, assegurando rastreabilidade estatística. Após o ajuste determinístico, Monte Carlo fornecerá intervalos de confiança para conversão e para propriedades nas janelas de densidade (15 °C), viscosidade (40 °C) e ponto de fulgor requeridas para SAF, estimando a probabilidade de atendimento normativo sob variações operacionais realistas (ASTM International, 2025; IEA Bioenergy Task 39, 2024). No módulo conceitual HEFA, a razão molar H₂:éster compatível com a literatura tende a gerar distribuições C₉–C₁₅ adequadas, com propriedades finais alinhadas a discussões consolidadas para diesel renovável e combustíveis aeronáuticos (IEA, 2021; Knothe; Van Gerpen; Krahl, 2025; Pomerville-Racette et al., 2025). A apreciação técnico-econômica preliminar, baseada em custo mínimo de produção e balanço de utilidades, deve evidenciar sensibilidade a consumo de solvente, recuperação de H₂ e aproveitamento de coprodutos, conforme práticas de projeto (Turton et al., 2018). Por fim, a análise de sensibilidade, via variações controladas de parâmetros e entradas, identificará variáveis de maior efeito sobre conversão e eficiência térmica, oferecendo base numérica ao escalonamento e à integração da avaliação técnico-econômica, com consistência físico-química.

Considerações finais

O modelo computacional proposto visa representar, de forma integrada, as etapas de cultivo, extração e conversão de biomassa microalgal para produção de combustível sustentável de aviação. Espera-se que as simulações permitam identificar as variáveis de maior influência sobre o rendimento e o custo energético do processo, fornecendo base para otimização técnico-econômica e verificação de conformidade com a norma ASTM D7566-23a e com as diretrizes do programa CORSIA. O estudo constitui etapa preliminar para validação experimental futura e consolidação de uma metodologia quantitativa de avaliação de rotas microalgais para *Sustainable Aviation Fuel* (SAF).

Agradecimentos

O autor agradece à Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE) e à Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná pelo apoio institucional e financeiro concedido à pesquisa.

Referências



ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D7566-23a – Standard Specification for Aviation Turbine Fuel Containing Synthesized Hydrocarbons.** [S. l.]: [s. d.], 2023.

BRANIZ, Taysa de Souza. **Extração de lipídios da microalga *Poterioochromonas malhamensis*, visando à produção de biodiesel pela reação de transesterificação in situ.** 2023. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2023. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/7575>.

FREEDMAN, Bernard; BUTTERFIELD, Royden O.; PRYDE, Everett H. Transesterification kinetics of soybean oil 1. [s. l.], v. 63, n. 10, p. 1375–1380, 1986.

IEA. **Bioenergy Task 39: Sustainable Aviation Fuels: Status, Challenges and Opportunities.** Paris: [s. d.], 2021. Disponível em: <https://task39.ieabioenergy.com/publications/>.

KNOTHE, Gerhard; VAN GERPEN, Jon; KRAHL, Jürgen. **The Biodiesel Handbook.** Champaign: AOCS Press, 2025.

LEUNG, Dennis Y. C.; WU, Xuan; LEUNG, M. K. H. A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. **Applied Energy**, [s. l.], v. 87, n. 4, p. 1083–1095, 2010.

MANDARI, Venkatesh; DEVARAI, Santhosh Kumar. Biodiesel Production Using Homogeneous, Heterogeneous, and Enzyme Catalysts via Transesterification and Esterification Reactions: a Critical Review. **Bioenergy Research**, [s. l.], v. 15, n. 2, p. 935–961, 2022.

MEHER, L. C.; VIDYA SAGAR, D.; NAIK, S. N. Technical aspects of biodiesel production by transesterification—a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 248–268, 2006.

MUBARAK, M.; SHAIJA, A.; SUCHITHRA, T. V. A review on the extraction of lipid from microalgae for biodiesel production. **Algal Research**, [s. l.], v. 7, p. 117–123, 2015.

NAYAK, M.; DAS, D.; SINGH, A. Lipid accumulation and biodiesel potential of microalgae under controlled culture conditions. **Algal Research**, [s. l.], v. 75, p. 103163, 2024.

POMINVILLE-RACETTE, Mathieu *et al.* Hydroprocessed Ester and Fatty Acids to Jet: Are We Heading in the Right Direction for Sustainable Aviation Fuel Production?. [s. l.], v. 18, n. 15, 2025.

TURTON, Richard *et al.* **Analysis, synthesis, and design of chemical processes.** Fifth editioned. Boston Columbus Indianapolis New York San Francisco Amsterdam: Prentice Hall, 2018. (Prentice Hall international series in the physical and chemical engineering sciences).



MODELAGEM CINÉTICA DO PROCESSO DE BIODIGESTÃO VISANDO À PRODUÇÃO DE METANO

Bacar Mané¹, Anderson Rafael Igarashi¹, Gabriel Manoel Ferreira¹, Nehemias Curvelo Pereira¹.

¹ Universidade Estadual de Maringá

Palavras-chave: digestão anaeróbia, efluentes industriais, potencial bioquímico de metano, modelo modificado de Gompertz.

Resumo

O setor energético ainda é dominado por combustíveis fósseis, cuja exploração excessiva ameaça o meio ambiente e a segurança energética. Como alternativa, o uso de biomassa como fonte energética representa um importante caminho para a redução da dependência de fontes de energia não renováveis. O presente estudo avalia a produção de metano (CH₄) a partir da digestão anaeróbia de efluentes industriais em reator batelada e a modelagem cinética do processo. As amostras foram caracterizadas físico-quimicamente utilizando o método da APHA, e os ensaios de BMP foram realizados conforme as recomendações da VDI. Foi realizada modelagem cinética do processo de biodigestão a partir dos dados de ensaios de BPM. Foram avaliadas duas relações substrato/inóculo (S/I), 0,5 e 1. Após o ensaio, foram obtidos 290 NmLCH₄·gSV⁻¹ para S/I 1 e 350 NmLCH₄·gSV⁻¹ para S/I 0,5. O modelo apresentou bons ajustes para os dados das duas diluições estudadas, com R² de 0,999 e 0,998 para relações S/I de 1:1 e 1:2, respectivamente. Obteve-se uma taxa de produção de metano entre 16,24 e 19,81 NmLCH₄·gSV⁻¹·dia⁻¹ e um período de aclimação entre 2 e 5 dias. Portanto, constatou-se que os efluentes industriais possuem grande potencial para a produção de biogás,

Introdução

O crescimento populacional vem elevando a demanda por energia. A principal matriz energética mundial ainda é sustentada por combustíveis fósseis, e sua exploração excessiva para atender à demanda crescente pode levar ao esgotamento, configurando séria ameaça à segurança energética e ao meio ambiente (Bhatia et al., 2021). Assim, surge a necessidade de implantar fontes alternativas, renováveis e menos poluentes (Angelidaki et al., 2018).

Nesse contexto, a digestão anaeróbia desponta como alternativa promissora para converter matéria orgânica em biogás, composto principalmente por metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), passível de uso como fonte de energia renovável (Marin et al., 2024; Sharmin et al., 2025).

Dessa forma, o presente trabalho tem por objetivo estudar a digestão anaeróbia de uma mistura de efluentes industriais, em reator operado em batelada, visando à produção de CH₄.

Material e métodos

No presente trabalho, foi utilizado como substrato mistura de efluentes industriais e o inóculo foi lodo de biodigestor ativo. Analiticamente, as amostras foram caracterizadas utilizando os métodos analíticos da APHA (2005).

Potencial Bioquímico de Metano (BPM)

Nesta etapa, os ensaios de Potencial Bioquímico de Metano (PBM) foram realizados em triplicata, em reatores operados em batelada, seguindo a norma VDI 4630 (2006). O pH do meio foi ajustado para 7,5, e os reatores foram mantidos em banho termostático a 37 °C. Foram avaliadas as



relações substrato/inóculo (S/I) de 1:1 e 1:2. A produção de CH₄ ao longo dos testes foi quantificada por cromatografia gasosa (modelo Trace GC Ultra, Thermo Scientific).

Modelagem cinética do processo de biodigestão

O ajuste matemático da produção acumulada de metano foi realizado por meio do modelo Gompertz modificado, proposto por Zwietering et al. (1990). A relação matemática correspondente é apresentada na Equação (1).

$$G(t) = G_0 \times \exp \left\{ - \exp \left[\frac{R_m \times e}{G_0} (\lambda - t) + 1 \right] \right\} \quad (1)$$

Em que $G(t)$ corresponde à produção específica acumulada de metano ao longo do período de incubação (NmLCH₄·gSV⁻¹); G_0 é a produção específica acumulada máxima de metano (NmLCH₄·gSV⁻¹); R_m é a taxa específica máxima de produção de metano, correspondente à inclinação máxima da curva (NmLCH₄·gSV⁻¹·dia⁻¹); e é a constante de Euler; λ é o tempo de aclimação (fase de adaptação) (dias); e t é o tempo de incubação (dias).

A determinação dos parâmetros do modelo Gompertz modificado foi feita por ajuste não linear da curva aos dados experimentais. O procedimento de regressão foi implementado na linguagem de programação *Python* (versão 3.11.11), utilizando a biblioteca *SciPy* (versão 1.13.11).

Resultados e Discussão

Os resultados de caracterização do inóculo indicaram maior estabilidade operacional, com pH alcalino, elevada alcalinidade e baixa razão AOV/AT, evidenciando boa capacidade tamponante, condição típica e desejável para inóculos empregados em processos de digestão anaeróbia (Mutegoa et al., 2020). O substrato, por sua vez, apresentou teores mais elevados de STV e, quando comparados aos relatados por Helenas (2019), mostraram-se semelhante.

Tabela 2 – Caracterização físico-química do substrato e inóculo.

PARÂMETRO	SUBSTRATO		INÓCULO	
	Unidade	Valor médio	Unidade	Valor médio
pH	N.A.	6,59	N.A.	8,59
ST	g/L	43,30	g/L	35,16
STF	g/L	6,93	g/L	16,00
STV	g/L	36,37	g/L	19,16
AT	mg CaCO ₃ /L	1030,00	mg CaCO ₃ /L	1565,00
AI/AP	N.A.	6,17	N.A.	0,28
AOV/AT	N.A.	1,73	N.A.	0,13
COT	%	33,88	%	20,85



A partir do ajuste do modelo modificado de Gompertz aos dados experimentais, obteve-se os seguintes parâmetros para as diferentes diluições substrato/inóculo (**Tabela 1**).

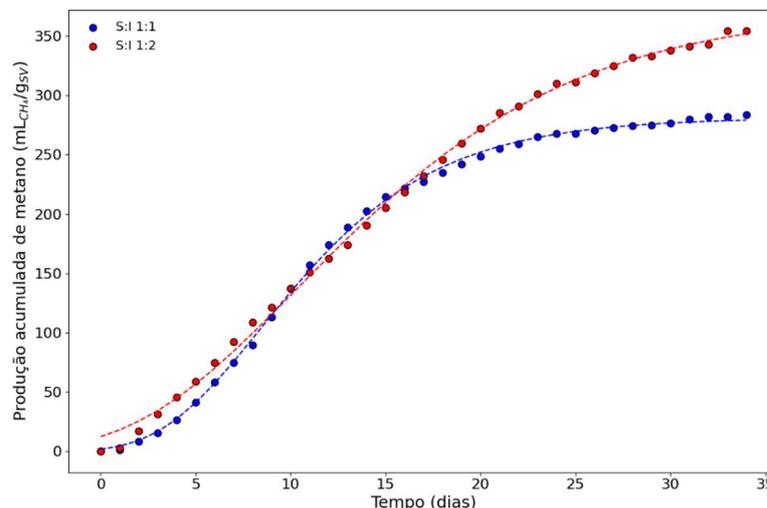
Tabela 1 – Parâmetros obtidos a partir da regressão não-linear dos dados experimentais.

Parâmetros	S/I 1:1	S/I 1:2
G_0	281,21±1,04	374,19±3,98
R_m	19,81±0,26	16,24±0,30
λ	3,19±0,09	1,90±0,18
$RMSE$	2,73	5,21
R^2	0,999	0,998

Por meio dos resultados apresentados na Tabela 1, observa-se que o modelo apresentou bons ajustes para os dados das duas diluições estudadas, com R^2 de 0,999 e 0,998 para relações S/I de 1:1 e 1:2, respectivamente.

Quanto à curva da produção acumulada de metano para ambas as diluições, estão apresentadas na Figura 1.

Figura 1 – Produção acumulada de metano e ajuste cinético para as relações S/I de 1:1, 1:1,33, 1:2, e 1:4.



Para o sistema estudado, obteve-se uma taxa de produção de metano entre 16,24 e 19,81 $\text{NmLCH}_4 \cdot \text{gSV}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ e um período de aclimação entre 2 e 5 dias. A taxa de produção de metano foi superior à reportada por De Oliveira et al. (2021), que estudaram a codigestão de resíduos alimentícios e lodo residual e obtiveram 5,75 $\text{NmLCH}_4 \cdot \text{gSV}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$. Já o tempo de aclimação foi semelhante ao observado por Zhu et al. (2019), que avaliaram a codigestão de dejetos suínos e resíduos da indústria de abate, encontrando valores entre 1,9 e 19 dias para diferentes concentrações de resíduos.

Considerações finais



A digestão anaeróbia da mistura de efluentes industriais apresentou elevado potencial de geração de biogás e metano, com desempenho superior na relação S/I de 0,50. Esses resultados reforçam a viabilidade da valorização energética desses resíduos.

Agradecimentos

Agradecimentos ao CNPq, à CAPES, à Fundação Araucária e à Universidade Estadual de Maringá.

Referências

- ANGELIDAKI, I.; TREU, L.; TSAPEKOS, P.; LUO, G.; CAMPANARO, S.; WENZEL, H.; KOUGIAS, P. G. Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives. **Biotechnology Advances**, 36 (2), pp. 452-466. 2018.
- APHA. American Public Health Association (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21ª Edição. **Washington: American Water Works Association**, 1368p.
- Bhatia S. K.; Jagtap S. S.; Bedekar A. A.; Bhatia R. K.; Rajendran K.; Pugazhendhi A.; Rao C. V.; Atabani A. E.; Kumar G.; Yang Y. H. Renewable biohydrogen production from lignocellulosic biomass using fermentation and integration of systems with other energy generation technologies, **Science of The Total Environment**, Volume 765, 2021.
- DE OLIVEIRA, L. R. G.; DOS SANTOS FILHO, D. A.; FRAGA, T. J. M.; Et al, . Kinetics assessment and modeling of biogas production by anaerobic digestion of food wastes and acclimated sewage sludge. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, vol 23, n. 4, p. 1646-1656, 2021.
- HELENAS, J. K. *Biodigestão anaeróbia de resíduos alimentares visando a produção de metano*. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.
- MUTEGOA, E.; KANDOLA, I.; HILONGA, A.; NJAU, K. N. Evaluating the level of ammonia and sulfide in the liquid phase during anaerobic digestion of slaughterhouse waste operating at mesophilic scale digester – the impact of inhibition and process performance. **AIMS Energy**, v. 8, n. 4, p. 615-626, 2020.
- ZHU, H.; YANG, J.; CHENG, X. Application of Modified Gompertz Model to Study on Biogas production from middle temperature co-digestion of pig manure and dead pigs. **E3S Web of Conferences**, vol 118, p. 03022, 2019.
- ZWIETERING, M. H.; JONGENBURGER, I.; ROMBOUTS, F. M.; VAN 'T RIET, K. Modeling of the Bacterial Growth Curve. **Applied and Environmental Microbiology**, vol 56, n. 6, p. 1875-1881, 1990.



COPRODUTO DA PRODUÇÃO DE ETANOL DE BATATA-DOCE COMO POTENCIAL PARA ALIMENTAÇÃO ANIMAL

Telise Roberta da Silva¹; Pedro Henrique Weirich Neto¹, Jaime Alberti Gomes¹

¹ Universidade Estadual de Ponta Grossa – Laboratório de Mecanização Agrícola (LAMA/UEPG)

Palavras-chave

Desenvolvimento sustentável, agricultura camponesa, *Ipomoea batatas*.

Resumo

A crescente demanda por fontes renováveis tem impulsionado o uso do etanol como alternativa sustentável aos combustíveis fósseis. No Brasil, além da cana-de-açúcar, novas matérias-primas vêm sendo exploradas, como o milho e a batata-doce (*Ipomoea batatas* L.), esta última se destaca pela alta adaptabilidade e produtividade. O coproduto da destilaria de milho, conhecido como DDGS (*Dried Distillers Grains with Solubles*), é amplamente usado na alimentação animal, reduzindo custos e promovendo a economia circular. Dessa forma, a caracterização do coproduto de destilaria da batata-doce surge como oportunidade promissora. O projeto propõe caracterizar bromatologicamente esse coproduto, analisando parâmetros como proteína bruta, matéria seca, extrato etéreo, fibras e extrato não nitrogenado, conforme métodos da AOAC (2005). Estudos anteriores mostram variação considerável no teor proteico do coproduto (3,87% a 24,64%), atribuída a diferenças genéticas, ambientais e de processamento. Mesmo com essa variação, o coproduto apresenta potencial como fonte proteica e energética alternativa, similar a subprodutos de oleaginosas. A pesquisa contribui para a sustentabilidade e a economia ao valorizar coprodutos da produção de etanol, podendo reduzir custos. Além disso, fornece base científica para estudos futuros sobre digestibilidade e desempenho animal, fortalecendo o uso da batata-doce como matéria-prima estratégica para bioetanol e na alimentação animal.

Introdução

A crescente demanda por fontes de energia renovável tem impulsionado significativamente o desenvolvimento da indústria de biocombustíveis em escala global, sendo o etanol um dos destaques. Este se apresenta como uma alternativa sustentável aos combustíveis fósseis (Hahn-Hagerdal et al., 2006). Tradicionalmente obtido a partir da cana-de-açúcar, o etanol produzido no Brasil, pode diversificar fontes de matéria-prima, e incorporar culturas amiláceas, como o milho e batata-doce (Franco; Franco 2021). Essa diversificação é estratégica, especialmente em regiões com restrições edafoclimáticas, onde a batata-doce demonstra adaptabilidade (Gonçalves Neto et al., 2011).

O processo de produção de etanol a partir de matérias-primas amiláceas gera, além do biocombustível, volume significativo de coprodutos. No caso do milho, o coproduto mais conhecido é o DDGS (*Dried Distillers Grains with Solubles*), amplamente reconhecido por seu alto valor nutricional e uso consolidado na alimentação animal (Stuani; Corassa; Silva, 2016). Contudo, a matéria-prima à base de milho representa custo elevado na produção de bioetanol, quando comparada com outras matérias-primas alternativas, que são abundantes e de baixo custo, confirmando a vantagem econômica



da batata-doce para a produção de etanol (Silva et al., 2019; Wang et al., 2024). O DDGS de milho é amplamente utilizado na alimentação animal, podendo substituir parcial ou totalmente o milho e o farelo de soja, conforme a fase de criação. Seu uso em dietas de suínos, por exemplo, especialmente na agricultura camponesa, pode favorecer sustentabilidade, reduzir custos e estimular a economia circular (Stuani; Corassa; Silva, 2016).

A batata-doce, além de seu potencial para produção de etanol, também possui coproduto de destilaria, que assim como o DDGS, concentra alto teor de proteína (Silveira et al., 2007; Gonçalves Neto et al., 2011). Apesar do crescente interesse nessa produção, a caracterização bromatológica detalhada e a avaliação do potencial de uso desse coproduto na alimentação animal são escassos na literatura (Weirich Neto et al., 2024).

O coproduto gerado no processo de fabricação de etanol da batata-doce tem demonstrado grande variação nos teores proteicos. Parente et al. (2014), obteve o valor de Proteína Bruta (PB) de 24,64%, Rodrigues e Rodrigues (2012) mostrou valor de PB de 17,66%, enquanto Rostagno et al. (2005) apresenta valores de PB de 3,87%. Essa diferença pode ser atribuída a fatores como variações de genótipos, solo, clima, além do tipo e tempo de processamento (Parente et al., 2014). Independentemente da variação, o teor de PB demonstra que o resíduo possui perfil nutricional que o torna fonte proteica e energética alternativa, comparável a subprodutos proteicos de oleaginosas. A alta concentração de fibra também é esperada, o que pode ser benéfica para a saúde intestinal (Rostagno et al., 2005).

Dessa forma, a caracterização do coproduto de destilaria de batata-doce é fundamental, pois sugere que ele também pode ser um ingrediente valioso, mas sua utilização depende de precisa caracterização antes da utilização.

Material e métodos

O trabalho proposto visa caracterizar bromatologicamente o coproduto e verificar seu potencial para alimentação animal.

Serão realizadas hidrólise, fermentação e destilação, em pequena escala de genótipos de batata-doce pertencentes a coleção de genótipos do Laboratório de Mecanização Agrícola da Universidade Estadual de Ponta Grossa (Lama/UEPG), que são cultivados na Fazenda Escola Capão da Onça (FESCON) da UEPG. Deste processo serão coletadas amostras do coproduto da produção de etanol de batata-doce.

Serão realizadas análises bromatológicas seguindo os métodos oficiais da *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 2005) adaptado para análise de: Proteína Bruta (PB), Matéria Seca (MS), Extrato Etéreo (EE), Fibra em Detergente Neutro (FDN), Fibra Bruta (FB) e Extrato Não Nitrogenado (ENN).

Resultados esperados

Espera-se gerar informações detalhadas sobre a composição bromatológica do coproduto proveniente da produção de etanol de batata-doce, de modo a avaliar seu potencial como ingrediente alternativo em dietas animais. Com isso, busca-se verificar sua viabilidade na formulação de rações balanceadas. Os resultados poderão contribuir para o aproveitamento sustentável desse coproduto, reduzindo custos na alimentação animal e agregando valor ao processo de produção de biocombustíveis.



Considerações finais

Este projeto busca gerar informações para contribuir com a sustentabilidade e a economia da cadeia produtiva de bioenergia e proteína animal no Brasil. A caracterização bromatológica do coproduto de destilaria de batata-doce contribuirá fornecendo dados essenciais para a formulação de dietas animais.

Os teores de proteína bruta, matéria seca, fibra e demais componentes do coproduto de destilação da batata-doce podem variar (Wang et al., 2024 e Silva et al., 2019), ainda assim, os resultados indicam que esse coproduto apresenta potencial significativo para uso na alimentação animal, podendo contribuir para reduzir a dependência de ingredientes de alto custo, como o farelo de soja.

Ao oferecer uma alternativa nutricional viável, o projeto contribui diretamente para a viabilidade econômica de pequenas propriedades e para a otimização do sistema biorrefinaria de batata-doce.

O conhecimento gerado servirá como base para futuros estudos de digestibilidade *in vivo* e de desempenho animal, consolidando o resíduo da produção de etanol de batata-doce como coproduto de alto valor agregado e promovendo um modelo de produção de etanol circular sustentável.

Agradecimentos

Ao Programa de Pós-Graduação em Bioenergia da UEPG pela oportunidade de realização do mestrado, e à Fazenda Escola da UEPG pela liberação e apoio concedidos para o desenvolvimento deste trabalho.

Referências

- AOAC. **Official Methods of Analysis**. 18th ed. Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists, 2005.
- FRANCO, A. C.; FRANCO, L. S. Tecnologias na produção de etanol de batata-doce: estudo de processos entre Brasil e China. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 15, n. 2, 2021.
- GONÇALVES NETO, Á. C. et al. Aptidões de genótipos de batata-doce para consumo humano, produção de etanol e alimentação animal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 11, p. 1513–1520, nov. 2011.
- HAHN-HÄGERDAL, B. et al. Bio-ethanol – the fuel of tomorrow from the residues of today. **Trends in Biotechnology**, v. 24, n. 12, p. 549–556, dez. 2006.
- PARENTE, I. P. et al. Características nutricionais e utilização do resíduo de batata-doce em dietas de frangos de crescimento lento. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 15, p. 470–483, 2025.
- RODRIGUES, L. G. S. M.; RODRIGUES, F. M. Composição química-bromatológica do resíduo do biocombustível de batata-doce [*Ipomoea batatas* L. (LAM)]. **Enciclopédia Biosfera**, v. 8, n. 14, p. 234–245, 2012.
- ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L.; GOMES, P.C.; OLIVEIRA, R.F.; LOPES, D.C.; FERREIRA, A.S.; BARRETO, S.L.T. **Tabelas Brasileiras para Aves e Suínos: composição de Alimentos e Exigências Nutricionais**. 2.ed. Viçosa, MG; Universidade Federal de Viçosa, 2005. 186p.



SILVA, L. F. L. et al. Energy and budget balances for sweet potato-based ethanol production. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, 1 jan. 2019.

SILVEIRA, M. A. et al. **A Cultura da batata-doce como fonte de matéria prima para produção de etanol. Palmas/TO. BOLETIM TÉCNICO UFT. 57p. 2007**

STUANI, J. L.; CORASSA, A.; SILVA, I. P. A. DA. Caracterização nutricional e uso de ddgs em dietas para suínos em crescimento e terminação - abordagem analítica. **Nativa**, v. 4, n. 2, p. 116–120, 28 abr. 2016.

WANG, X. et al. Optimization of Consolidated Bioprocessing Fermentation of Uncooked Sweet Potato Residue for Bioethanol Production by Using a Recombinant Amylolytic *Saccharomyces cerevisiae* Strain via the Orthogonal Experimental Design Method. **Fermentation**, v. 10, n. 9, p. 471–471, 12 set. 2024.

WEIRICH NETO P. H.; GOMES, J. A.; SOUZA, N. M.; ROCHA, C. H. A agricultura camponesa brasileira e a bioenergia: pesquisa como demanda da extensão. **Revista Orbis Latina**, v. 13, n. 12, p. 113-135, 2023.



AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA RELAÇÃO SUBSTRATO/INÓCULO NO POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE METANO A PARTIR DA DIGESTÃO ANAERÓBIA DE EFLUENTES INDUSTRIAIS

Anderson Rafael Igarashi¹, Bacar Mané¹, Fabrício Junitiro Yamanaka¹, Nehemias Curvelo Pereira¹.

¹ Universidade Estadual de Maringá

Palavras-chave: energias renováveis, potencial bioquímico de metano, modelo modificado de Gompertz.

Resumo

O setor energético ainda é dominado por combustíveis fósseis, cuja exploração excessiva ameaça o meio ambiente e a segurança energética. Como alternativa, o uso de biomassa como fonte energética representa um importante caminho para a redução da dependência de fontes de energia não renováveis. O presente estudo avalia a influência da relação Substrato/Inóculo (S/I) na produção de metano (CH₄) a partir da digestão anaeróbia de efluentes industriais em reator batelada. As amostras foram caracterizadas físico-quimicamente utilizando o método da APHA. Foi realizado o ensaio de Potencial Bioquímico de Metano (PBM), seguindo as recomendações da VDI 4630, no qual foram avaliadas as seguintes relações S/I: 0,25; 0,50; 0,75 e 1. Após o fim do processo de digestão anaeróbia, foram obtidos 344 Nml CH₄/gSV para S/I 1, 398 Nml CH₄/gSV para S/I 0,75, 306 Nml CH₄/gSV para S/I 0,5 e 650 Nml CH₄/gSV para S/I 0,25. No entanto, constatou-se que a relação S/I 0,25 teve melhor desempenho em relação as relações avaliadas. Portanto, os efluentes industriais possuem grande potencial para a produção de biogás.

Introdução

O aumento do consumo energético global, impulsionado pelo crescimento populacional e pela industrialização, tem gerado uma crescente dependência dos combustíveis fósseis. Essa dependência, no entanto, representa ameaça à segurança energética e ao meio ambiente, devido ao esgotamento das reservas e à liberação de gases de efeito estufa (Bhatia, 2021). Para enfrentar essa crise, a busca por fontes de energia renovável se tornou uma prioridade (Angelidaki, 2018).

A digestão anaeróbia é um processo biológico que ocorre na ausência de oxigênio, no qual microrganismos, atuando de forma sinérgica, convertem matéria orgânica em biogás. Ela se desenvolve em quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, cada uma conduzida por grupos específicos de microrganismos (Kunz, 2019)..

Córdoba, Fernández e Santalla (2018) avaliaram a influência da relação substrato/inóculo na produção de metano, concluindo que o emprego de uma quantidade adequada de inóculo é essencial para a estabilização do processo e o aumento da produção de metano.

Desse modo, este trabalho propõe avaliar a influência da relação Substrato/Inóculo (S/I) na produção de metano (CH₄) a partir da digestão anaeróbia de efluentes industriais em reator batelada.

Material e métodos

Potencial Bioquímico de Metano (PBM)

O procedimento de digestão anaeróbia foi conduzido em reatores operados em batelada. Para fins analíticos, as amostras foram caracterizadas segundo as técnicas prescritas pela APHA (2005). Os experimentos, executados em triplicata, seguiram a metodologia padronizada da VDI 4630 (2006): o pH



do meio foi ajustado a 7,5 e os reatores foram mantidos em banho termostático a 37 °C. Os ensaios de Potencial Bioquímico de Metano (PBM) avaliaram as relações substrato/inóculo (S/I) de 0,25; 0,50, 0,75 e 1,00.

A medição diária da produção de biogás foi executada utilizando uma seringa de 10 mL em conjunto com um manômetro, seguida pelo ajuste do volume produzido para considerar as condições de temperatura e pressão padrão (STP), conforme delineado na Equação (1).

$$V_N = \frac{V \cdot (P - P_W) \cdot T_0}{P_0 \cdot T} \quad (2)$$

Para a quantificação da geração de CH₄ ao longo dos experimentos, foi empregado um cromatógrafo gasoso (Model Trace GC Ultra, ThermoScientific).

Modelagem cinética do processo de biodigestão

O ajuste matemático da produção acumulada de metano foi realizado a partir do modelo Modificado de Gompertz, proposto por Zwietering et al. (1990). A relação matemática correspondente está presente na Equação (2).

$$G(t) = G_0 \times \exp \left\{ - \exp \left[\frac{R_m \times e}{G_0} (\lambda - t) + 1 \right] \right\} \quad (2)$$

Em que $G(t)$ é a produção específica acumulada de metano ao longo do período de incubação (NmLCH₄·gSV⁻¹); G_0 representa a produção específica acumulada máxima de metano (NmLCH₄·gSV⁻¹); R_m corresponde à taxa específica máxima de produção de metano, isto é, à inclinação máxima da curva (NmLCH₄·gSV⁻¹·dia⁻¹); e é a constante de Euler; λ é o tempo de aclimação (dias), ou seja, o intervalo necessário para adaptação microbiana ao meio; e t é o tempo de incubação (dias).

A estimação dos parâmetros do modelo Gompertz modificado foi realizada por ajuste não linear da curva aos dados experimentais. O procedimento de regressão foi implementado em *Python* (versão 3.11.11), utilizando a biblioteca *SciPy* (versão 1.13.11).

Resultados e Discussão

Por meio dos resultados experimentais, realizou-se o teste de Tukey para comparação de pares de média a fim de descobrir se houve diferenças significativas entre as produções acumuladas de metano para cada uma das diluições. Os resultados obtidos do teste, considerando um intervalo de confiança de 95%, estão presentes na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Resultados obtidos do teste de Tukey.

Pares	F-valor	p-valor
(1:1 – 1:1,33)	92.621	0.004
(1:1 – 1:2)	82.315	0.006
(1:1 – 1:4)	257.518	<0.001
(1:1,33 – 1:2)	174.936	<0.001
(1:1,33 – 1:4)	350.139	<0.001
(1:2 – 1:4)	175.203	<0.000



Como pode ser observado, o teste de Tukey apresentou p-valores inferiores a 0,05 para todos os pares estudados; portanto, há evidências de que as médias diferem estatisticamente entre si, indicando que as diferentes relações S/I resultaram em produções acumuladas de metano distintas. Após o teste de Tukey, procedeu-se ao ajuste do modelo Gompertz modificado aos dados experimentais, obtendo-se os parâmetros correspondentes para cada diluição substrato/inóculo (**Tabela 2**).

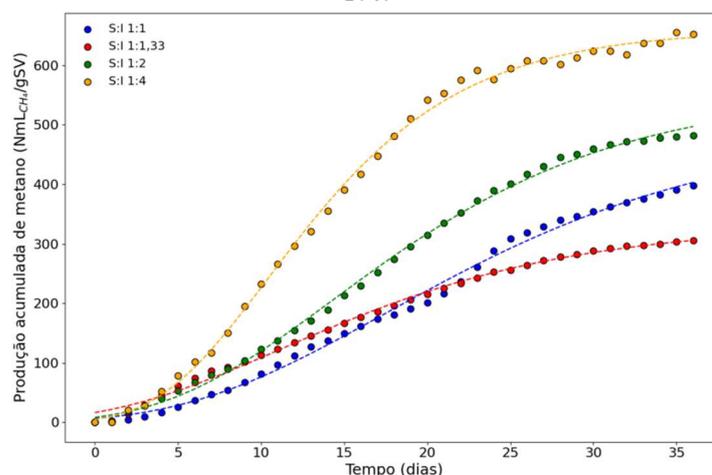
Tabela 2 – Parâmetros obtidos a partir da regressão não-linear dos dados experimentais.

Parâmetros	S/I 1:1	S/I 1:2	S/I 1:1,33	S:I 1:4
G_0	497,77±16,80	556,54±8,07	333,12±5,77	660,45±4,71
R_m	15,40±0,34	20,57±0,34	12,13±0,30	36,97±0,71
λ	5,59±0,28	4,32±0,19	1,04±0,29	3,88±0,16
RMSE	9,01	7,35	6,44	9,83±
R^2	0,995	0,998	0,995	0,998

A partir dos resultados da **Tabela 2**, observa-se que a regressão pelo modelo Gompertz modificado apresentou bom ajuste para as quatro diluições avaliadas, destacando-se a relação 1:1,33, que exibiu os menores valores de R^2 e de RMSE.

As curvas de produção acumulada de metano, assim como os ajustes para cada relação S/I, são apresentadas na **Figura 1**.

Figura 1 – Produção acumulada de metano e ajuste cinético para as relações S/I de 1:1, 1:1,33, 1:2, e 1:4.



De acordo com o ajuste, a taxa de produção variou entre 12,13 e 36,97 $\text{NmL CH}_4 \cdot \text{gSV}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$, valores próximos aos reportados por Ware e Power (2017), que observaram taxas entre 19,06 e 35,42 $\text{NmL CH}_4 \cdot \text{gSV}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$ para a digestão de resíduos de frigoríficos. Quanto à fase de latência, ela variou



entre 6,44 e 9,83 dias, intervalo consistente com o encontrado por Parralejo et al. (2019), que relataram valores entre 0 e 15 dias para a digestão de diferentes proporções de resíduos agroindustriais.

Quanto ao teor de metano no biogás, a relação S/I = 0,25 apresentou o melhor desempenho, com média de 62,22%, enquanto as relações 0,50 e 0,75 registraram 58,57% e 56,37%, respectivamente.

Considerações finais

As relações S/I avaliadas ao longo do processo de digestão anaeróbia mostraram potencial significativo para a produção de metano. Os resultados indicam que a maior concentração de inóculo resulta em maior produção de biogás e metano, bem como em rendimento superior de metano no biogás.

Agradecimentos

Agradecimentos ao CNPq, à CAPES, à Fundação Araucária e à Universidade Estadual de Maringá.

Referências

ANGELIDAKI, I. *et al.* Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives. *Biotechnology Advances*, 36(2), pp.452-466. 2018.

APHA. American Public Health Association (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21ª Edição. **Washington: American Water Works Association**, 1368p.

BHATIA, S. K. *et al.* Renewable biohydrogen production from lignocellulosic biomass using fermentation and integration of systems with other energy generation technologies, *Science of The Total Environment*, Volume 765, 2021.

CÓRDOBA, V., FERNÁNDEZ, M. & SANTALLA, E. The effect of substrate/inoculum ratio on the kinetics of methane production in swine wastewater anaerobic digestion. *Environ Sci Pollut Res* 25, 21308–21317 (2018).

KUNZ, A. *et al.* *Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato*. **Concórdia: Embrapa Suínos e Aves; Sbera**, 2019.

PARRALEJO, A. I.; ROYANO, L.; GONZÁLEZ, J.; GONZÁLEZ, J. F. Small scale biogas production with animal excrement and agricultural residues. *Industrial Crops & Products* , v. 131, p. 307-314 , 2019.

VDI 4630. *Fermentation of organic materials – characterization of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests*. **Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure**, 2016.

WARE, A.; POWER, N. Modelling methane production kinetics of complex poultry slaughterhouse wastes using sigmoidal growth functions. *Renewable Energy* , v. 104, p. 50-59 , 2017.

ZWIETERING, M. H.; JONGENBURGER, I.; ROMBOUTS, F. M.; VAN 'T RIET, K. Modeling of the Bacterial Growth Curve. *Applied and Environmental Microbiology* , vol 56, n. 6, p. 1875-1881 , 1990.



PRODUÇÃO DE ENZIMAS LIGNOCELULOLÍTICAS DE FUNGOS FILAMENTOSOS POR FERMENTAÇÃO EM ESTADO SÓLIDO PARA TRATAMENTO DE BIOMASSA

Victor Hugo de Almeida Figueiredo ¹, Vitória Durães Chlusewicz ¹, Prof. Dra. Maria Inês Rezende²
Prof. Dr. Marcelo Rodrigues de Melo (Orientador)²

¹Mestrando em Bioenergia, Universidade Estadual Londrina

²Departamento de Bioquímica e Biotecnologia, Universidade Estadual de Londrina

Palavras-chave

Celulase, fermentação, lacase, sacarificação, xilanase.

Resumo

Os fungos filamentosos produzem enzimas do complexo lignocelulítico (xilanases, celulases, lacases, ligninases e peroxidases), as quais apresentam considerável potencial de uso na conversão da matéria lignocelulósica em matérias primas industrialmente utilizáveis. Além disso, a produção dessas enzimas pode ser realizada por meio de fermentação em estado sólido (FES), utilizando a própria biomassa lignocelulósica como substrato. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi a produção de enzimas lignocelulolíticas de fungos filamentosos por FES para tratamento de biomassa. A FES foi realizada em serragem de pinus e 14 isolados de fungos filamentosos foram avaliados quanto ao crescimento no substrato e à produção de lacase, celulase e xilanase. Todos os 14 fungos filamentosos avaliados foram capazes de crescer no substrato, sendo que 13 isolados apresentaram atividade enzimática de lacase, 12 apresentaram atividade enzimática de celulase e todos apresentaram atividade enzimática de xilanase. As maiores atividades enzimáticas de lacase, celulase e xilanase foram de 1,19, 0,68 e 1,31 U/mL, obtidas com os isolados MC24-56, MC23-49 e MY-01, respectivamente. Com base nestes resultados e considerando o potencial biotecnológico destas enzimas para o tratamento da biomassa, ensaios futuros utilizarão os produtos com maior atividade enzimática de lacase, celulase e xilanase para a formulação de um mix enzimático para tratamento de biomassa.

Introdução

Os resíduos lignocelulósicos são a fonte mais abundante de biomassa disponível e seu reaproveitamento é essencial para a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais (ODS 12.2), bem como para o aumento da participação de energias renováveis na matriz energética global (ODS 7.2). Contudo, um dos principais fatores limitantes ao uso da biomassa é sua despolimerização e conversão em moléculas simples, processo este que pode ser realizado por meio do uso de enzimas lignocelulolíticas (Rytioja *et al.*, 2014).

Estas enzimas podem ser produzidas por microrganismos como os fungos filamentosos os quais degradam as estruturas lignocelulósicas da biomassa vegetal por meio do uso de dois sistemas enzimáticos, um sistema hidrolítico responsável pela degradação de polissacarídeos, composto por xilanases e celulases, e um sistema oxidativo que degrada a lignina e abre seus anéis fenólicos, composto por lacases, ligninases e peroxidases. Além disso, a própria produção da destas enzimas pode ser realizada utilizando resíduos lignocelulolíticos, por meio de fermentação em estado sólido (FES).



A FES é um processo biotecnológico definido pelo crescimento de microrganismos em materiais sólidos, na ausência ou quase ausência de água livre. Diferentemente das fermentações submersas tradicionais, o substrato atua tanto como suporte físico quanto como fonte de nutrientes, mantendo-se em condições que permitam o desenvolvimento principalmente de fungos filamentosos, mas também de leveduras ou bactérias. Este método permite a utilização de resíduos lignocelulósicos como substratos, convertendo-os em produtos de alto valor agregado e com baixo consumo de água (Sharma *et al.*, 2021).

Material e métodos

Produção de Enzimas Lignocelulolíticas por FES

A produção de enzimas ligninolíticas por fungos filamentosos (n = 14) foi realizada por meio de FES em serragem de pinus não tratada quimicamente obtida no comércio local. 2 g de serragem de pinus foram adicionados a frascos Erlenmeyer de 50 mL, esterilizada e umidificada com 6 mL de solução composta por (g . L⁻¹): NaNO₃ (6,0), KH₂PO₄ (1,52), KCl (0,52), MgSO₄·7H₂O (0,52), peptona bacteriológica (2,0), triptona (1,5) e extrato de levedura (0,5), pH 6,5. Cada frasco foi inoculado com três discos miceliais (10 mm Ø) dos fungos filamentosos e mantido em estufa à 28 °C, durante 21 dias. Os cultivos foram interrompidos pela adição de 20 mL de água destilada estéril ao frasco, homogeneização, incubação em banho de ultrassom (30 min) e filtração em papel filtro. O líquido resultante da filtração - extrato bruto enzimático (EBE) - foi congelado e armazenado até sua utilização.

Determinação da Atividade Enzimática

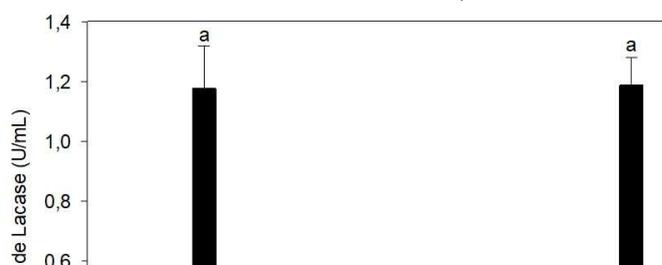
A atividade de lacase no EBE foi determinada conforme Slomczynski *et al.* (1995), sendo uma unidade de atividade enzimática (U/mL) foi definida como a quantidade de enzima necessária para oxidar 1 µM de DMP, por minuto, por mL do EBE. A atividade de celulase e de xilanase no EBE foi determinada conforme Periyasamy *et al.* (2017), sendo uma unidade de atividade enzimática (U/mL) definida como a quantidade de enzima necessária para liberar 1 µmol de glicose/xilose, por minuto, por mL do EBE. Os açúcares redutores foram determinados pela técnica descrita por Miller (1959).

Resultados e Discussão

Todas as 14 linhagens de fungos filamentosos avaliadas foram capazes de colonizar a serragem de pinus utilizada como substrato para a FES. A determinação da atividade de lacase no EBE apresentou duas linhagens com atividade significativamente superior às demais, sendo as linhagens MP18-01 e MC24-54, as quais apresentaram atividade enzimática de lacase de 1,18 e 1,19 U/mL, respectivamente. Apenas o isolado MY-01 não apresentou atividade enzimática de lacase (Figura 1).

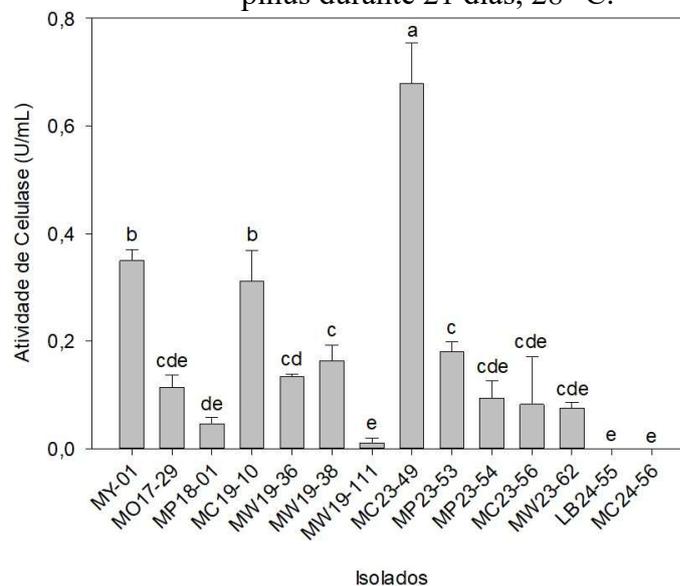
Doze isolados apresentaram atividade enzimática de celulase no EBE, sendo a atividade do isolado MC23-49 (0,68 U/mL) significativamente superior aos demais. Além disso, dois isolados não apresentaram atividade enzimática celulase, sendo os isolados LB24-55 e MC24-56 (Figura 2).

Figura 1. Atividade de lacase no EBE de isolados fúngicos cultivados em serragem de pinus durante 21 dias, 28 °C.



U: quantidade de enzima necessária para oxidar 1 μM de DMP, por minuto, por mL do EBE. Atividades de lacase seguidas de mesmas letras não apresentam diferenças estatisticamente significativas (Teste de Tukey, $p < 0,05$).

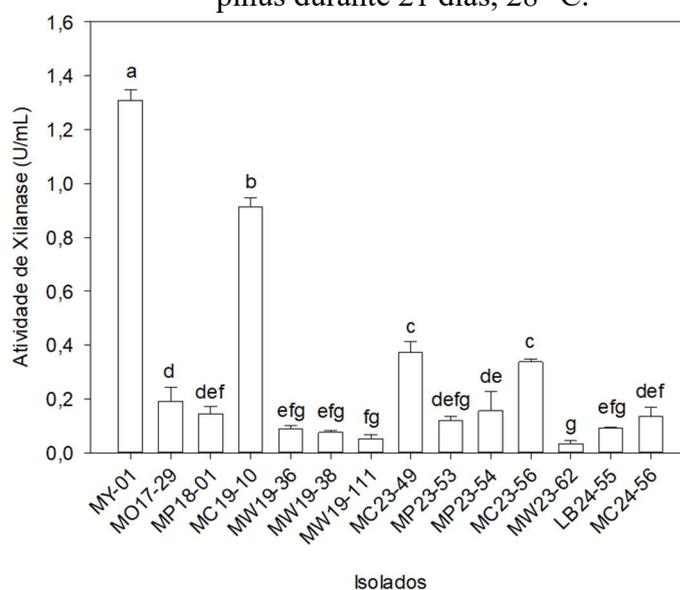
Figura 2. Atividade de celulase no EBE de diferentes isolados fúngicos cultivados em serragem de pinus durante 21 dias, 28 °C.



U: Quantidade de enzima necessária para liberar 1 μmol de glicose por minuto, por mL do extrato enzimático, nas condições do ensaio. ^{a, b, c} Atividades enzimáticas seguidas de mesmas letras não apresentam diferenças estatisticamente significativas (Teste de Tukey, $p < 0,05$).

A atividade de xilanase foi detectada no EBE de todos os 14 isolados fúngicos testados, sendo a atividade do isolado MY-01 significativamente superior à atividade dos demais isolados, alcançando 1,31 U/mL (Figura 3).

Figura 3. Atividade de xilanase no EBE de diferentes isolados fúngicos cultivados em serragem de pinus durante 21 dias, 28 °C.



U: Quantidade de enzima necessária para liberar 1 μ mol de açúcar redutor por minuto, por mL do extrato enzimático, nas condições do ensaio. ^{a, b, c} Atividades enzimáticas seguidas de mesmas letras não apresentam diferenças estatisticamente significativas (Teste de Tukey, $p < 0,05$).

Agradecimentos

Ao Departamento de Bioquímica e Biotecnologia/CCE/UEL e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pelo suporte à realização da pesquisa.

Referências

- PERIYASAMY, K.; SANTHALEMBI, L.; MORTHA, G.; AUROUSSEAU, M.; GUILLET, A.; DALLERAC, D.; SIVANESAN, S. Production, partial purification and characterization of enzyme cocktail from *Trichoderma citrinoviride* AUKAR04 through solid-state fermentation. *Arabian Journal for Science and Engineering*, v.42, n. 1, p. 53-63, 2017.
- RYTIOJA, J.; HILDÉN, K.; YUZON, J.; HATAKKA, A.; DE VRIES, R. P.; MÄKELÄ M. R. Plant-polysaccharide-degrading enzymes from Basidiomycetes. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, v. 78, n. 4, p. 614-649, 2014.
- SHARMA, P.; GAUR, V. K.; SIROHI, R.; VARJANI, S.; KIM, S. H.; WONG, J. W. C. Sustainable processing of food waste for production of bio-based products for circular bioeconomy. *Bioresource Technology*, v. 325, 124684, 2021.
- SŁOMCZYŃSKI, D.; NAKAS, J. P.; TANENBAUM, S. W. Production and characterization of laccase from *Botrytis cinerea* 61-34. *Applied Environmental Microbiology*, v. 61, n. 3, p. 907-912, 1995.



CARACTERIZAÇÃO DO ÓLEO DE COCO E POTENCIAL CATALÍTICO DA LIPASE DE *Burkholderia cepacia* VISANDO À PRODUÇÃO DE BIOQUEROSENE

Aristóteles Aggens¹, Silvio Miguel Parmegiani Marcucci², Simone Palma Fávaro³, Dasciana de Sousa Rodrigues³, Letícia Karen dos Santos³, Pedro Augusto Arroyo¹, Gisella Maria Zanin¹

¹Universidade Estadual de Maringá

² UNIFEITEP – Centro Universitário

³ EMBRAPA Agroenergia

Palavras-chave

Catálise enzimática, biocombustíveis, atividade catalítica, composição em ácidos graxos.

Resumo

O presente estudo teve como objetivo caracterizar o óleo de coco utilizado como matéria-prima e determinar a atividade enzimática da lipase de *Burkholderia cepacia*, empregada no processo de transesterificação enzimática voltado à produção de ésteres etílicos na faixa do bioquerosene. O óleo foi submetido a análises físico-químicas conforme metodologias normatizadas, apresentando 4 mg KOH/g para índice de acidez, densidade de 0,921 g/cm³, índice de saponificação de 265 mg KOH/g, índice de iodo de 7,21 g/100 g e teor de umidade de 0,25 %, em conformidade com a literatura, além de apresentar composição em ácidos graxos majoritariamente entre C8 e C16. A enzima foi avaliada por meio do método de Lowry-Tinsley (1976), apresentando atividade enzimática média de 102,11 ± 0,73 U/g, superior aos valores relatados na literatura. Assim, os resultados alcançados demonstram o potencial do óleo de coco como matéria-prima e da lipase de *Burkholderia cepacia* como biocatalisador promissor para a síntese de ésteres etílicos de interesse na produção de bioquerosene.

Introdução

Os biocombustíveis vêm sendo estudados como alternativas sustentáveis aos combustíveis fósseis, com destaque para o bioquerosene de aviação, que se apresenta como uma opção promissora derivada de biomassa renovável. A utilização de rotas enzimáticas na transesterificação tem ganhado relevância devido às vantagens operacionais, como menores temperaturas e pressões de reação, redução de resíduos e obtenção de subprodutos de alta qualidade (Batista e Soares, 2023). Dentre as matérias-primas vegetais, o óleo de coco apresenta características físico-químicas favoráveis à produção de ésteres etílicos, destacando-se pela sua composição de ácidos graxos de cadeia média e baixa umidade, o que favorece o desempenho catalítico das lipases microbianas (Brandão *et al.*, 2020). Neste contexto, a lipase proveniente de *B. cepacia* vem sendo amplamente estudada em reações de transesterificação por apresentar elevada estabilidade e eficiência catalítica, características essenciais para aplicação em processos de bioconversão. Assim, este trabalho apresenta os resultados referentes à caracterização físico-química do óleo de coco e à determinação da atividade enzimática da lipase de *B. cepacia*, etapas



fundamentais para a otimização do processo enzimático de produção de ésteres etílicos na faixa de interesse para produção de bioquerosene.

Materiais e métodos

Caracterização físico-química do óleo de coco

A caracterização físico-química do óleo de coco do fornecedor Coconut, adquirido em mercado local, ocorreu mediante a análise dos parâmetros de qualidade e métodos analíticos descritos por Lôbo e Ferreira (2009), sendo: índice de acidez (EN 14104:2003); densidade a 20 °C (EN ISO 3675:1998); índice de saponificação (NBR 5834:1988); índice de iodo (EN ISO 1411:2008); composição de ácidos graxos (AOCS Ce 1-62); e teor de umidade.

Atividade enzimática

A atividade enzimática da lipase de *Burkholderia cepacia* do fornecedor SIGMA, foi determinada utilizando o método de Lowry-Tinsley (1976), por meio do processo de esterificação e da construção de uma curva padrão com ácido oleico. A análise foi realizada no comprimento de onda de 510 nm. O volume de reação utilizado foi de 1 mL com 0,1 g de óleo e massa de enzima de 0,01 g. A reação foi conduzida a 30 °C, por 30 minutos. A atividade enzimática foi calculada com base na quantidade de ácido oleico convertido, utilizando-se a curva padrão construída.

Resultados e Discussão

Caracterização do óleo de coco

Os resultados referentes à caracterização físico-química do óleo de coco são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização físico-química do óleo de coco

Parâmetro	Unidade	Valor obtido
Índice de acidez	mg KOH/g	4
Densidade a 20 °C	g/cm ³	0,921
Índice de saponificação	mg KOH/g	265
Índice de iodo	g/100 g	7,21
Teor de umidade	%	0,25

Pode-se verificar que a densidade encontrada para o óleo de coco testado está em conformidade com dados apresentados por Azevedo *et al.* (2020). O índice de acidez apresentou teor de 4 mg KOH/g, valor menor que os apresentados por Azevedo *et al.* (2020). Os índices de iodo e de saponificação encontrados foram de 7,21 g/100 g e 265 mg KOH/g, respectivamente, corroborando com resultados reportados na literatura.

A composição em ácidos graxos do óleo de coco é apresentada na Tabela 2, na qual pode-se verificar que esta se encontra majoritariamente entre C8 a C16 (>90 %), indicando a sua adequacidade para aplicação na síntese de bioquerosene.



Tabela 2 - Composição em ácidos graxos do óleo de coco

Ácidos Graxos	Nomenclatura	g/100 g
C6:0	Capróico	0,35
C8:0	Caprílico	7,3
C10:0	Caprico	6,5
C12:0	Láurico	49,1
C14:0	Mirístico	18,9
C16:0	Palmítico	8,8
C18:0	Esteárico	3,0
C18:1	Oléico	5,1
C18:2	Linoléico	0,95

Determinação da atividade enzimática

Os resultados referentes à determinação da atividade enzimática da lipase proveniente de *Burkholderia cepacia* são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Cálculo da atividade enzimática

Tempo (h)	Absorbância		
	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
zero	0,545	0,555	0,540
1	0,389	0,389	0,381
2	0,333	0,344	0,341
3	0,253	0,255	0,251
Concentração (µmol/mL)			
zero	43,03	43,53	42,53
1	27,40	27,40	26,60
2	21,49	22,89	22,59
3	13,77	13,97	13,57
Slope (3 h)	0,16	0,16	0,16
U/g	101,59	102,63	100,54
Média (ativ. enzimática)	102,11±0,73		

A atividade enzimática foi calculada por meio da equação $Y = 0,01x + 0,1155$, com $R^2 = 98,44\%$. O valor médio da atividade enzimática foi de $102,11 \pm 0,73$ U/g, que é considerado elevado, quando comparado aos valores obtidos por Oliveira (2014) e Richter *et al.* (2022), com 26 U/mL e 22 U/g, respectivamente. Segundo Pastore, Costa e Koblitz (2003), variáveis como pH, temperatura e presença de íons influenciam diretamente a atividade enzimática, sendo essencial conhecer esse parâmetro para o controle do processo catalítico. Assim, os resultados obtidos demonstram que a lipase de *Burkholderia cepacia* apresenta elevada eficiência e estabilidade, tornando-se promissora para aplicação em processos de transesterificação enzimática.



Considerações finais

A caracterização físico-química do óleo de coco demonstrou conformidade com os valores apresentados na literatura, confirmando a viabilidade de sua utilização como matéria-prima para produção de bioquerosene. De fato, a composição em ácidos graxos também se mostrou potencial, sendo centrada em ácido láurico (C12:0), com mais de 90 % de componentes entre C8 e C16. Além disso, a lipase de *Burkholderia cepacia* apresentou elevada atividade enzimática ($102,11 \pm 0,73$ U/g), evidenciando seu potencial como biocatalisador para reações de transesterificação visando à produção de ésteres etílicos na faixa de interesse do bioquerosene.

Referências

- AZEVEDO, P. M. et al. Characterization of coconut oil and its potential for biodiesel production. **Renewable Energy Journal**, v. 145, p. 120–128, 2020.
- BATISTA, J. L.; SOARES, C. M. Advances in enzymatic transesterification for biofuel production: A review. **Energy Conversion and Management**, v. 293, p. 118–136, 2023.
- BRANDÃO, G. C. et al. Medium-chain fatty acid profile of coconut oil and its potential for biotechnological applications. **Industrial Crops and Products**, v. 156, p. 112–126, 2020.
- LOBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C. Determination of physicochemical parameters of vegetable oils and biodiesel. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1596–1600, 2009.
- OLIVEIRA, J. E. Produção de ésteres etílicos por transesterificação enzimática utilizando lipase de *Burkholderia cepacia*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). **Universidade Federal do Rio de Janeiro**, 2014.
- PASTORE, G. M.; COSTA, P. A.; KOBLITZ, M. G. B. Enzimas como agentes biotecnológicos. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 1, n. 2, p. 30–38, 2003.
- RICHTER, J. L. et al. Characterization of lipase from *Burkholderia cepacia* and its biotechnological applications. **Bioprocess and Biosystems Engineering**, v. 45, p. 337–345, 2022.



açucares e amido conforme estádios fenológicos do milho para produção de etanol

Jéssica Goba¹, Pedro Henrique Weirich Neto², Jaime Alberti Gomes², Sandra Regina Masetto Antunes¹, Maria Elena Payret Arrúa¹

¹ Programa de Pós-graduação em Bioenergia, Laboratório de Biocombustíveis, Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG)

² Programa de Pós-graduação em Bioenergia, Laboratório de Mecanização Agrícola (Lama), Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG)

Palavras-chave

Biocombustível, biorefinaria, Carboidratos.

Resumo

A crescente demanda por energia limpa e renovável torna os biocombustíveis, como o etanol de milho, essenciais para reduzir a emissão de gases de efeito estufa e diversificar a matriz energética. A produção de etanol envolve extração, hidrólise, sacarificação, fermentação e destilação, sendo influenciada pelo teor de açúcares e amido nos grãos, que varia conforme os estádios fenológicos. Compreender esses estádios é fundamental para determinar o ponto ideal de colheita e maximizar o rendimento de etanol. Para avaliar essa relação, foram realizadas 6 coletas de espigas de milho (*Zea mays* L.) na Fazenda Escola Capão da Onça da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG), de acordo com os estádios fenológicos reprodutivos (R1 a R6). Os grãos serão triturados para obtenção de farinha e posteriormente serão utilizados para análises de conteúdo de água, cinzas, proteínas, lipídios, açúcares solúveis totais e extração de amido. Essas análises permitem relacionar o desenvolvimento dos grãos ao potencial de produção de etanol.

Introdução

A crescente busca por fontes energéticas menos poluentes e renováveis visa reduzir os impactos ambientais e a dependência de recursos não renováveis, destacando a biomassa como alternativa sustentável (Borges, 2016).

A biomassa pode substituir ou complementar os combustíveis fósseis, diversificando a matriz energética, reduzindo as emissões de gases do efeito estufa (GEE) e contribuindo para a segurança energética (Ali, 2024).

Os biocombustíveis, como etanol, biodiesel, biogás e óleos vegetais, são obtidos através da conversão da biomassa ou de seus derivados, por processos químicos, físicos ou biológicos e contribuem para o desenvolvimento sustentável e a mitigação de impactos ambientais (Eckert, 2016).

O etanol é um componente estratégico da matriz de combustíveis do Brasil, destacando-se por sua relevância econômica e ambiental. A biomassa mais utilizada é a cana-de-açúcar, porém nos últimos anos, a produção de etanol de milho vem ganhando destaque: segundo estimativas, existem atualmente 25 plantas em operação no país, com previsão de chegar a 62 nos próximos dez anos, o que representa um aumento de 122,5% na produção, passando de 11,1 para 24,7 bilhões de litros (Datagro, 2025).



O milho (*Zea mays* L.) destaca-se como matéria-prima complementar ao setor sucroenergético, aproveitando o período de entressafra da cana-de-açúcar e aumentando a produção de biocombustível (Ribeiro, 2023).

A produção de etanol de milho utiliza o amido do grão, que é hidrolisado em açúcares fermentáveis por enzimas como α -amilase, β -amilase e glucoamilase, o que pode gerar etanol e coprodutos (Van Der Maarel et al., 2002).

A produção de etanol a partir do milho tem se mostrado uma alternativa promissora no Brasil, devido ao curto ciclo da cultura, à facilidade de armazenamento dos grãos e à possibilidade de cultivo na segunda safra, ampliando a oferta de matéria-prima. Essa característica tem impulsionado o uso do milho cultivado na segunda safra como base para a produção de etanol, fortalecendo o sistema de cultivo duplo, especialmente na região Centro-Oeste e contribuindo para o aumento da disponibilidade de grãos e para o avanço da bioenergia no país (Gurgel, 2024).

No Brasil, o milho é cultivado em duas épocas: a primeira safra, semeada na primavera-verão, e a segunda safra, cultivada no verão-outono, geralmente após a colheita da soja. Esse sistema de sucessão de culturas e o escalonamento da produção ao longo do ano aumentam a complexidade do equilíbrio entre oferta e demanda do grão (Sanches, 2018).

O conhecimento dos estádios fenológicos do milho é essencial para o manejo eficiente da cultura, abrangendo desde a emergência até a maturidade fisiológica. O ciclo divide-se em estádios vegetativos e reprodutivos, sendo que o último se inicia com o pendoamento e segue até a maturidade dos grãos (Magalhães, 2002).

O desenvolvimento reprodutivo define a produtividade do milho, com os grãos formados por eixo embrionário, endosperma e pericarpo. O endosperma, que representa cerca de 85% da massa do grão, contém 80% de amido e até 15% de proteína (Wang et al., 2023).

Os estádios reprodutivos, de R1 a R6, envolvem a formação e o enchimento dos grãos: R1 (polinização), R2 (acúmulo inicial de amido), R3 (grão leitoso), R4 (pastoso), R5 (farináceo) e R6 (maturidade fisiológica). A relação entre açúcares livres, amido e etanol nos estádios reprodutivos do milho é essencial para entender o acúmulo de reservas e o potencial energético da cultura. A partir do estágio R2, os açúcares solúveis são convertidos em amido no endosperma, intensificando-se até o R6. Monitorar o teor de açúcares ao longo dos estádios permite identificar a eficiência na conversão de carboidratos, otimizando a produção de amido e, conseqüentemente, o rendimento de etanol. (Ritchie et al., 1993).

Identificar o ponto ideal de colheita, considerando não apenas o teor de amido, mas também a presença de açúcares livres diretamente fermentáveis, pode reduzir custos com hidrólise enzimática e aprimorar a eficiência da produção de etanol a partir de fontes amiláceas.

Material e métodos

Serão realizadas coletas do milho em cada estágio fenológico (R1 a R6) para acompanhar o desenvolvimento da planta. A extração de amido seguirá o método da Paes & Barbosa (2019), e os açúcares solúveis totais e redutores serão quantificados por métodos colorimétricos.

Um experimento preliminar foi realizado na Fazenda Escola Capão da Onça (UEPG, Ponta Grossa – PR), com coletas semanais de espigas, transportadas ao laboratório, as quais foram processadas e analisadas. Os grãos foram triturados para determinação de sólidos solúveis ($^{\circ}$ Brix) com refratômetro. Em seguida, as amostras foram secas a 60 °C por 72 horas, trituradas novamente até obter farinha.



Resultados e Discussão

Foram realizadas coletas na fase reprodutiva da cultura do milho (R1 a R6), sendo que os açúcares solúveis totais (°Brix) variam de 9,5 °Brix a 14,5 °Brix, apresentando valores mais elevados nas amostras coletadas nas fases R3 e R4, correspondente aos estádios intermediários de desenvolvimento dos grãos. Observou-se redução dos teores de açúcares solúveis. A massa dos grãos teve aumento progressivo no decorrer das coletas, de acordo com a característica de acúmulo de matéria seca e amido nos estádios finais. Já a massa dos raquis da espiga manteve-se constante, com leve declínio nas últimas coletas, possivelmente em função da redistribuição de fotoassimilados para os grãos.

Considerações finais

Até o presente, pode-se concluir que os sólidos solúveis (°Brix) aumentam até os estádios intermediários, atingindo cerca de 14,5 °Brix e reduziram nas fases finais, indicando a conversão de açúcares em amido. A massa dos grãos apresentou aumento contínuo, enquanto a dos raquis manteve-se pouco variável ao longo das coletas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Referências

- ALI, Farhad et al. Fueling the future: biomass applications for green and sustainable energy. **Discover sustainability**, v. 5, n. 1, p. 156, 2024.
- BORGES, Ane Caroline Pereira et al. Renewable energy: a contextualization of the biomass as power supply. **REDE: Revista Eletrônica do Prodepa**, v. 10, n. 02, p. 23-36, 2016.
- DATAGRO CONSULTORIA. **Expansão da produção de etanol de milho no Brasil**. Disponível em: <https://www.datagro.com>. Acesso em: 01 out. 2025.
- ECKERT, Caroline T. et al. La producción de bio-aceite a partir de diferentes materias primas en Brasil. **Revista de Ciencia y Tecnología**, n. 26, p. 32–39, 2016.
- GURGEL, Angelo C. et al. Contribution of double-cropped maize ethanol in Brazil to sustainable development. **Nature Sustainability**, v. 7, n. 11, p. 1429-1440, 2024.
- MAGALHÃES, Paulo César et al. **Fisiologia do milho**. Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, v. 22, 2002.
- MANOCHIO, C. et al. Etanol de biomassa: uma visão comparativa. **Revisões de Energia Renovável e Sustentável**, v. 80, p. 743–755, 2017.



PAES, M. C. D.; BARBOSA, N. A. **Metodologia de determinação da extratibilidade e isolamento de amido de grãos de milho por via úmida em escala laboratorial.** Embrapa Milho e Sorgo, Comunicado Técnico 238, 2019.

RIBEIRO, Laura Márcia Lima. **Etanol de milho: Processo produtivo e contexto atual do mesmo no Brasil.** 2023.

RITCHIE, S. W.; HANWAY, J. J.; BENSON, G. O. How a corn plant develops. Ames: **Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service, Special Report 48**, 1993.

SANCHES, André; ALVES, Lucilio Rogério Aparecido; DE CAMARGO BARROS, Geraldo Sant'Ana. Oferta e demanda mensal de milho no Brasil: impactos da segunda safra. **Revista de Política Agrícola**, v. 27, n. 4, p. 73-73, 2018.

VAN DER MAAREL, Marc J. E. C. et al. Propriedades e aplicações das enzimas conversoras de amido da família α -amilase. **Revista de Biotecnologia**, v. 94, n. 2, p. 137–155, 2002.

WANG, Jing et al. Characterization and transcriptome analysis of maize small-kernel mutant *smk7a* in different development stages. **Plants**, v. 12, n. 2, p. 354, 2023.



APROVEITAMENTO DE COMPOSTOS NATURAIS DE *EUPHORBIA TIRUCALLI* L. PARA CONVERSÃO DE ENERGIA SOLAR E GERAÇÃO DE HIDROGÊNIO VERDE POR ELETRÓLISE

Heliam Pedro Tabaldi¹, Letícia Fernanda Gonçalves Larsson¹, André Lazarin Gallina¹

¹Universidade Estadual do Centro-Oeste

Palavras-chave: Ácido fórmico, corantes naturais, TiO₂

Resumo

A busca por fontes de energia renovável e de baixo impacto ambiental tem impulsionado o desenvolvimento de tecnologias capazes de substituir os combustíveis fósseis. Nesse contexto, o aproveitamento de biomassa natural surge como alternativa promissora para gerar energia limpa de forma sustentável. O presente estudo investigou o aproveitamento integral da *Euphorbia tirucalli* L. em duas rotas complementares de conversão energética: (i) como corante natural em células solares sensibilizadas (CSSCs) e (ii) como aditivo em eletrólise de ácido fórmico para produção de hidrogênio. O corante vegetal foi extraído por via etanólica e utilizado na sensibilização de eletrodos de TiO₂, resultando em um aumento de 77,78% na eficiência de conversão energética em comparação à célula sem corante, evidenciando a boa capacidade de transferência eletrônica dos compostos naturais. Os resíduos remanescentes da extração foram empregados como aditivos na solução eletrolítica, promovendo a redução do potencial de início da reação de evolução de hidrogênio (HER) de -0,49 V para -0,39 V, indicando maior facilidade na liberação de H₂. As análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV) revelaram que o filme de TiO₂ manteve sua aderência e integridade estrutural na presença do resíduo, enquanto na ausência deste observou-se degradação e corrosão do substrato metálico. Assim, o trabalho demonstra a viabilidade ambiental do uso da *Euphorbia tirucalli* L. como fonte renovável multifuncional para sistemas fotovoltaicos e eletroquímicos, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis de geração de energia limpa.

Introdução

O aproveitamento integral de biomassa em rotas complementares de conversão energética representa uma estratégia eficiente para a otimização de recursos e redução de resíduos. Nesse contexto, a *Euphorbia tirucalli* L. conhecida popularmente como avelóz, é amplamente disponível em regiões tropicais e rica em compostos aromáticos, como flavonoides, fenóis e diterpenos, que contêm grupos funcionais capazes de interagir quimicamente com óxidos semicondutores (Kusumawati et al., 2021).

Essas características fitoquímicas tornam a planta interessante para aplicação em células solares sensibilizadas por corantes (CSSCs). Nesses dispositivos, os metabólitos naturais extraídos atuam como sensibilizadores moleculares, o que melhora a eficiência do sistema. Além disso, a utilização de corantes naturais contribui para a redução de custos e impactos ambientais, quando comparada a corantes sintéticos à base de metais nobres (Larsson et al., 2019).



Os resíduos gerados após a extração desses compostos, compostos principalmente por frações lignocelulósicas e moléculas orgânicas solúveis, podem ser reaproveitados em uma segunda rota energética, a produção de hidrogênio por eletrólise. Quando incorporados a soluções de ácido fórmico, esses resíduos atuam como aditivos orgânicos, influenciando fenômenos de adsorção, transferência de massa e modificação da química superficial dos eletrodos. Além disso, podem formar filmes protetores sobre a superfície dos eletrodos, reduzindo processos corrosivos e aumentando a durabilidade dos materiais condutores (Wang *et al*, 2020).

O TiO_2 , por sua vez, desempenha papel central em ambos os sistemas, atuando como semicondutor nas CSSCs e eletrocatalisador na eletrólise, devido à sua estabilidade química, baixo custo, versatilidade morfológica e possibilidade de modificação superficial (Kanwal, 2024). Dessa forma, o presente estudo propõe uma abordagem integrada e sustentável para o aproveitamento da *Euphorbia tirucalli* L. em duas rotas de conversão energética complementares: (i) como corante natural em CSSCs e (ii) como aditivo na eletrólise de ácido fórmico utilizando TiO_2 como catalisador.

Material e métodos

Extração do corante e caracterização: O corante de *Euphorbia tirucalli* L. foi extraído utilizando 50 g de planta, previamente triturada, para cada 100 mL de etanol e mantido em 48 h de extração. Os resíduos da planta (talos e caules) foram armazenados para aplicação na produção de hidrogênio.

Montagem da célula solar: A célula foi montada em formato sanduíche onde o eletrodo de trabalho utilizado foi uma pasta de TiO_2 de acordo com a metodologia de Parussulo e colaboradores (2013), depositada sob substrato vítreo FTO e corante de Aveloz adsorvido durante 48 horas. O contra eletrodo utilizado foi platina eletrodepositada em FTO e entre as placas foi inserido uma gota de eletrólito contendo o par redox iodeto/triiodeto (I^-/I_3^-). No momento da montagem foi demarcada uma área de trabalho de $0,2 \text{ cm}^2$ para análise.

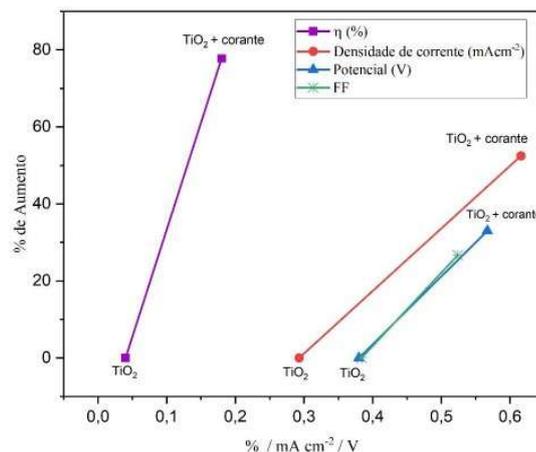
Produção de Hidrogênio: Para avaliar a produção de hidrogênio, os resíduos sólidos da planta resultantes da extração do corante foram postos em contato com solução de ácido fórmico 3 mol L^{-1} por uma hora (Guo *et al*, 2011). Após isso foi filtrado e o líquido foi armazenado. Foi utilizado o aço inoxidável 304 como suporte para o óxido semicondutor. O óxido semicondutor foi preparado utilizando os mesmos reagentes e quantidades para o preparo da pasta na CSSC. Nesta etapa ele foi depositado na superfície do aço e calcinado à 450°C . **Montagem do sistema de eletrólise:** O sistema eletroquímico contou com 3 eletrodos, sendo eles: o eletrodo de trabalho foi o aço inoxidável 304 com a pasta de TiO_2 depositada, o eletrodo de referência foi um eletrodo de $\text{Ag}_{(s)}/\text{AgCl}_{(aq)}$ e o contra eletrodo foi uma placa de platina. A solução de ácido fórmico foi colocada em contato com os eletrodos no mesmo recipiente. Para a caracterização da célula solar foram realizadas as curvas de densidade de corrente x potencial (j-V) em um potenciostato Zahner modelo Zennium Electrochemical Workstation, acoplado ao Xpot e LOT Oriel, com lâmpada de xenônio e potência solar de 100 mW cm^{-2} . A eficiência da célula foi calculada utilizando a equação 1.

$$\eta = \frac{j_{CC} E_{ca} FF}{P_{in}} 100\%$$

Para avaliar a produção de H₂ foi empregado as curvas de polarização potenciodinâmica catódica no potenciostato Autolab – Metrohm ®. Foi aplicado uma sobretensão de 0 a -1,5 V contra potencial de circuito aberto, após a estabilização, com varredura de 1 mV s⁻¹ e marcação de dados a cada 10 mV. O filme de TiO₂, depositado sobre a superfície do aço 304, foi caracterizado por microscopia eletrônica de varredura (MEV) utilizando um microscópio da marca Tescan, modelo VEGA3XMU. A análise foi feita antes da deposição de TiO₂, após a deposição e posterior as medidas eletroquímicas, com e sem a presença de resíduo.

Resultados e Discussão

Figura 1 - Variação dos parâmetros fotovoltaicos após adição do corante.

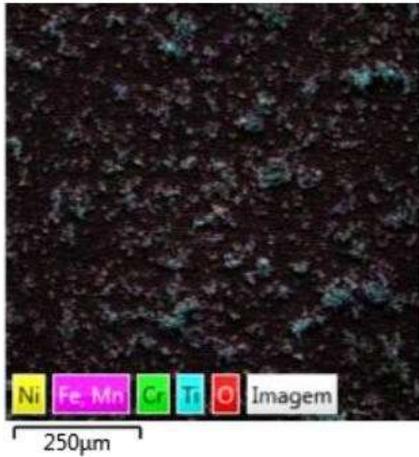


Fonte: O autor (2025).

O gráfico demonstrado na figura 1 evidencia um crescimento expressivo em todos os parâmetros após a inserção do corante, indicando que o corante atuou de maneira eficiente como sensibilizador. O aumento da densidade de corrente foi atribuído à maior absorção de fótons na região do visível e à consequente transferência de elétrons mais eficiente para a banda de condução do TiO₂. O incremento na tensão de circuito aberto sugere redução nas perdas por recombinação e melhoria na separação de cargas (Francis e Ikenna, 2021).

Com base na Equação 1, foi possível determinar a eficiência de conversão energética do dispositivo. Conforme apresentado na Figura 1, o resultado acompanha a tendência observada nos demais parâmetros fotovoltaicos, evidenciando um aumento de 77,78% na eficiência da célula contendo corante em comparação à célula sem corante.

Figura 2 – Microscopia Eletrônica de Varredura para os eletrodos após a eletrólise na interface (a) aço 304/TiO₂/ácido fórmico e (b) aço 304/TiO₂/ácido fórmico + resíduo



A partir dos ensaios de polarização potenciodinâmica catódica realizados previamente foi observado que potencial de desprendimento de H_2 foi $-0,49$ V para o sistema contendo apenas ácido fórmico e $0,39$ V quando adicionado o resíduo vegetal, a uma densidade de corrente de $-0,0005$ A cm^{-2} . Isso indica que a presença do resíduo antecipou o início da reação, tornando o processo energeticamente mais favorável. Ao analisar as microscopias dos diferentes sistemas, as imagens mostraram desprendimento significativo do filme de TiO_2 da superfície do aço (figura 2-A). Esse processo expôs o metal base, permitindo o início de processos corrosivos e diminuindo a durabilidade do eletrodo. Na figura 2-B, com a presença do resíduo da avelóz, o filme de TiO_2 permaneceu aderido à superfície do aço, mantendo a integridade estrutural do revestimento. Essa estabilidade se deve à adsorção de compostos orgânicos e minerais da biomassa sobre o TiO_2 , o que impediu a quebra do filme (Sonar *et al*, 2024).

Considerações finais

O estudo demonstrou que a *Euphorbia tirucalli* L. pode ser aproveitada de forma integral em duas rotas de conversão energética. O extrato vegetal utilizado como corante em CSSCs aumentou a eficiência em 77,78%, enquanto o resíduo da extração reduziu o potencial de início da HER de $-0,49$ V para $-0,39$ V. As análises MEV/EDS confirmaram maior estabilidade do filme de TiO_2 na presença do resíduo. Assim, a biomassa mostrou-se uma alternativa sustentável e eficiente para geração de energia limpa.

Agradecimentos

Grupo de pesquisa InovaBioS, CAPES e a Fundação Araucária via NAPI H_2 .

Referências

FRANCIS, O. I.; IKENNA, A. Review of dye-sensitized solar cell (DSSCs) development. *Natural Science*, v. 13, n. 12, 2021.



- GUO, W. L.; LI, L.; TIAN, S.; LIU, L.; WU, Y. P. Hydrogen production via electrolysis of aqueous formic acid solutions. **Int J Hydrogen Energy**, vol. 36, no. 16, pp. 9415–9419, 2011.
- KANWAL, H.; KAHN, A. A. B.; SHAH, A.; UBAIDULLAH, M.; HAKEEM, A. S.; YOUNAS, M.; GHANI, T.; MEHMOOD, M. In-depth investigation of microstructure and optical properties of triphase TiO₂ nanoparticles at varied calcination temperatures for dye sensitized solar cells (DSSCs) applications. **Mater Chem Phys**, vol. 320, p. 129415, 2024.
- KUSUMAWATI, Y; HUTAMA, A. S.; WELLIA, D. V.; SUBAGYO, R. Natural resources for dyesensitized solar cells. **Heliyon**, vol. 7, no. 12, p. e08436, 2021.
- LARSSON, L. F. G.; TRACTZ, G. T.; MAIA, G. A. R.; ALVES, G. J. T.; RODRIGUES, P. R. P.; CUNHA, M. T.; BANCZEK, E. P. Comparative study of TiO₂ and ZnO application in hybrid solar cells using copolymer P3OT/P3MT,” **Quim Nova**, vol. 42, 2019.
- PARUSSULO, A. L. A., BONACIN, J. A., TOMA, S. H., ARAKI, K., & TOMA, H. E. Unravelling the Chemical Morphology of a Mesoporous Titanium Dioxide Interface by Confocal Raman Microscopy: New Clues for Improving the Efficiency of Dye Solar Cells and Photocatalysts. **Langmuir**, v. 25, n.19, p.11269–11271, ago. 2009.
- SONAR, P.; KHASAWAD, S.; WALHE, A.; TAYDE, A. A review on pencil cactus (*Euphorbia tirucalli*). **International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology**, v. 12, n. 5, 2024.
- WANG, F.; STAHL, S. S. Electrochemical Oxidation of Organic Molecules at Lower Overpotential: Accessing Broader Functional Group Compatibility with Electron–Proton Transfer Mediators. **Accounts of Chemical Research**, v.53, n.3, p.561-574, 2020.



MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS HIT

Carlos Eduardo Santos Silva¹

Camila de Brito Miranda¹

¹Universidade Estadual de Maringá

Palavras-chave

Modelagem Matemática, Módulos Fotovoltaicos, HIT (Heterojunção), Evolução Diferencial, modelo 1D5P.

Resumo

A modelagem matemática de módulos fotovoltaicos (PV) é uma ferramenta crucial para prever a geração de energia em condições operacionais reais. No entanto, os parâmetros elétricos de modelos de circuito equivalente, como o de um diodo e cinco parâmetros (1D5P), não são fornecidos pelos fabricantes, exigindo o uso de métodos de extração. Este trabalho propõe a extração dos 5 parâmetros do modelo 1D5P para um módulo de heterojunção (HIT) utilizando o algoritmo meta-heurístico de Evolução Diferencial (DE). O algoritmo foi implementado em MATLAB para otimizar os parâmetros com base em dados de referência (STC e NOCT) extraídos do datasheet do fabricante e validados com o software PVSyst. A função objetivo do algoritmo minimizou o Erro Quadrático Médio (RMSE) entre a corrente simulada e os dados de referência. O modelo foi, então, validado comparando os resultados da simulação com os dados de referência nas condições STC (Standard Test Conditions) e NOCT (Nominal Operating Cell Temperature). Os resultados em STC demonstraram alta acurácia, com o erro da potência máxima (P_{mp}) da simulação sendo de apenas +0,29% em relação ao datasheet, superando a precisão do PVSyst (+0,37%). Em NOCT, a análise revelou que tanto a simulação (+6,71%) quanto o PVSyst (+7,03%) superestimam a potência, indicando limitações nos modelos de translação. Conclui-se que o método DE com o modelo de 1D5P é eficaz na replicação dos parâmetros de STC, mas compartilha das limitações dos modelos de translação em NOCT.

Introdução

A crescente demanda energética, aliada às preocupações com as mudanças climáticas, tem impulsionado a transição global para fontes de energia renováveis e sustentáveis. O Brasil, com seu vasto potencial solar, tem apresentado um crescimento exponencial na capacidade instalada fotovoltaica. Para garantir a viabilidade e o dimensionamento correto desses sistemas, é essencial prever seu comportamento em diferentes condições climáticas. A modelagem matemática é a principal ferramenta para essa previsão (Provensi et al., 2023; Tifidat et al., 2023). O desempenho de um módulo fotovoltaico (PV) é altamente não-linear e depende diretamente da irradiância e da temperatura da célula (Souza, 2012). O modelo de um diodo e cinco parâmetros (1D5P) é amplamente utilizado na literatura por oferecer o melhor equilíbrio entre precisão e complexidade computacional (Lidaighbi et al., 2022; Tifidat



et al., 2023). O desafio central é que os cinco parâmetros deste modelo (a fotocorrente I_L , a corrente de saturação I_0 , o fator de idealidade do diodo A , a resistência série R_s e a resistência shunt R_{sh}) são fornecidos pelos fabricantes apenas para as condições padrões de teste (STC e NOCT). Para solucionar esta questão, algoritmos de otimização bio-inspirados, como a Evolução Diferencial (DE) e outros (Ibrahim e Hossain, 2022), são empregados para "extrair" esses parâmetros a partir dos dados de referência disponíveis no datasheet. Portanto, este trabalho tem como objetivo desenvolver e validar um modelo 1D5P, com parâmetros extraídos pelo algoritmo DE, para um módulo de heterojunção (HIT). A acurácia do algoritmo é mensurada comparando os dados simulados — Potência Máxima (P_{mp}), Tensão de Máxima Potência (V_{mp}), Corrente de Máxima Potência (I_{mp}), Corrente de Curto-Circuito (I_{sc}) e Tensão de Circuito Aberto (V_{oc}), — com os dados de referência do PVSyst nas condições STC e NOCT.

Material e métodos

O estudo consiste na modelagem e simulação de um módulo fotovoltaico de heterojunção, modelo Canadian Solar HiHero 430W (CS6R-430H-AG). Os dados de referência STC foram extraídos do datasheet do fabricante. O modelo 1D5P é descrito pela equação característica (Villalva et al., 2009):

$$I = I_L - I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V + IR_s)}{N_{CS} A k T_c} \right) - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \right] \quad (1)$$

Onde q é a carga elementar do elétron, k é a constante de Boltzman, N_{CS} é o número de células em série, T_c é a temperatura da célula, V é a tensão de saída. As correntes I_L e I_0 são dependentes das condições ambientais (irradiância e temperatura) e são corrigidos usando as equações de translação (Provinsi et al., 2023). O algoritmo DE foi implementado em MATLAB para determinar o conjunto de cinco parâmetros (I_L , I_0 , A , R_s e R_{sh}) que melhor descreve o módulo. O algoritmo busca minimizar uma função de aptidão (fitness), definida como o Erro Quadrático Médio (RMSE), que calcula a diferença entre a corrente simulada pelo modelo e a corrente de referência (PVSyst) nos pontos de máxima potência, circuito aberto e curto-circuito.

$$RMSE(x) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N ff(V, I, x)^2} \quad (2)$$

O algoritmo foi configurado com o número de indivíduos (N_p) igual a 50, número de gerações (N_g) igual a 300 gerações, fator de mutação $F = 0,5$ e taxa de cruzamento $CR = 0,1$, com os limites de busca dos parâmetros baseados na literatura (Provinsi et al., 2023). Após a extração dos parâmetros em STC, o modelo foi utilizado para simular o desempenho do módulo nas condições STC e NOCT. Os resultados da simulação (P_{mp} , V_{mp} , I_{mp} , I_{sc} e V_{oc}) foram então comparados com os valores de referência obtidos no software PVSyst, calculando-se o erro percentual $e\%$ para cada parâmetro.

Resultados e Discussão

As Tabelas 1 e 2 apresentam a compilação dos resultados da validação do modelo de simulação em comparação com os dados de referência do PVSyst e do datasheet do fabricante.



Tabela 1 - Comparação dos Parâmetros Simulados vs. PVSyst para STC e NOCT.

MODULO HIT CONDIÇÃO 1 (1000W/m ² e 25°C) - STC						MODULO HIT CONDIÇÃO 2 (800W/m ² e 20°C) - NOCT				
Método	Pmp	Imp	Vmp	Isc	Voc	Pmp	Imp	Vmp	Isc	Voc
PVSYST	431,60	12,66	34,11	13,21	41,00	350,00	10,11	34,60	10,55	41,00
Simulação	431,25	12,65	34,10	13,39	40,05	348,93	10,70	34,10	10,70	40,39
e%	0,08	0,08	0,01	-1,36	2,37	0,31	-5,50	1,46	-1,47	1,50

Fonte: Autoria própria.

Tabela 2 - Comparativo com o Datasheet (Referência STC e NOCT).

CONDIÇÃO STC						CONDIÇÃO NOCT				
CS6R	Pmp	Imp	Vmp	Isc	Voc	Pmp	Imp	Vmp	Isc	Voc
Datasheet	430,00	12,76	33,80	13,38	40,10	327	10,18	32,1	10,77	38
e% Pvsyst	0,37	-0,82	0,90	-1,27	2,24	7,03	-0,64	7,79	-2,08	7,88
e% Simulação	0,29	-0,90	0,90	0,09	-0,13	6,71	5,14	6,24	-0,62	6,29

Fonte: Autoria própria.

A análise dos resultados demonstra a alta precisão do algoritmo de Evolução Diferencial para a extração de parâmetros. A Tabela 2, que compara ambos os modelos (PVSyst e Simulação) diretamente com os dados nominais do fabricante em STC e NOCT, é o principal indicador de validação. O algoritmo proposto alcançou um erro de +0,29% na P_{mp} , um resultado de alta fidelidade que se compara favoravelmente ao próprio PVSyst (0,37%). A Tabela 1 valida o modelo em condições operacionais distintas. O erro na Pmp em STC (0,08%) e NOCT (0,31%) é notavelmente baixo. A análise do erro revela um comportamento complexo. Por exemplo, a I_{sc} é superestimada em STC (+1,36%) mas subestimada em NOCT (-1,47%). Esta complexidade sugere que a divergência entre o modelo e a referência não está ligada a um único coeficiente, mas sim a uma interação mais complexa entre os 5 parâmetros extraídos, como resistência em série, resistência Shunt e fator de idealidade, e como eles respondem às diferentes combinações de irradiância e temperatura. O caso NOCT (800W/m² e 20°C) continua a se destacar. Ele apresenta a maior anomalia, com um erro de -5,50% na Imp. Este ponto específico de baixa irradiância parece ser onde o modelo 1D5P tem maior dificuldade em replicar perfeitamente o "joelho" da curva I-V.

Considerações finais

O algoritmo de DE demonstrou ser uma ferramenta robusta, rápida e de alta precisão para a extração dos cinco parâmetros do modelo 1D5P para módulos fotovoltaicos de tecnologia HIT. O modelo



validado foi capaz de prever a potência máxima com alta fidelidade na condição STC (+0,29% de erro) superando a precisão do PVSyst. A análise em NOCT, contudo, revelou uma limitação importante: tanto o modelo simulado quanto o PVSyst superestimam os parâmetros de tensão e potência (com erros de +6% a +7%) em comparação com os dados medidos do fabricante. Isso indica que os modelos de translação baseados em coeficientes de temperatura podem não ser totalmente precisos. Embora o modelo tenha apresentado uma anomalia na I_{mp} em NOCT (+5,14%), a metodologia geral se mostrou eficaz em replicar o comportamento do PVSyst em STC e identificar as limitações dos modelos de translação em condições de operação reais.

Agradecimentos

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Bioenergia (PPB) pela oportunidade e fomento à pesquisa.

Referências

- IBRAHIM I. A.; HOSSAIN, M. J. D. B. C. A hybrid wind driven-based fruit fly optimization algorithm for identifying the parameters of a double-diode photovoltaic cell model considering degradation effects. **Sustainable Energy Technologies and Assessments**, v. 50, p. 101685, Mar 2022.
- LIDAIGHBI, S. et al. A new hybrid method to estimate the single-diode model parameters of solar photovoltaic panel. **Energy Conversion and Management: X**, v. 15, p. 100234, Aug 2022.
- PROVENSI, L. L. et al. Modeling of the operating characteristics of photovoltaic modules based on particle swarm optimization. **Environmental Progress Sustainable Energy**, v. 41, n. 5, 2022.
- PROVENSI, L. L. et al. Modeling and simulation of photovoltaic modules using bio-inspired algorithms. **Inventions**, v. 8, n. 5, p. 107, 2023.
- SOUZA, R. D. Os sistemas de energia solar fotovoltaica: Livro digital de introdução aos sistemas solares. [S.l.: s.n.], 2012.
- TIFIDAT, K. et al. Numerical procedure for accurate simulation of photovoltaic modules performance based on the identification of the single-diode model parameters. **Energy Reports**, v. 9, p. 5532-5544, dec 2023.
- VILLALVA, M. G.; GAZOLI, J. R.; FILHO, E. R. Comprehensive approach to modeling and simulation of photovoltaic arrays. **IEEE Transactions on Power Electronics**, v. 24, n. 5, p. 1198-1208, 2009.

