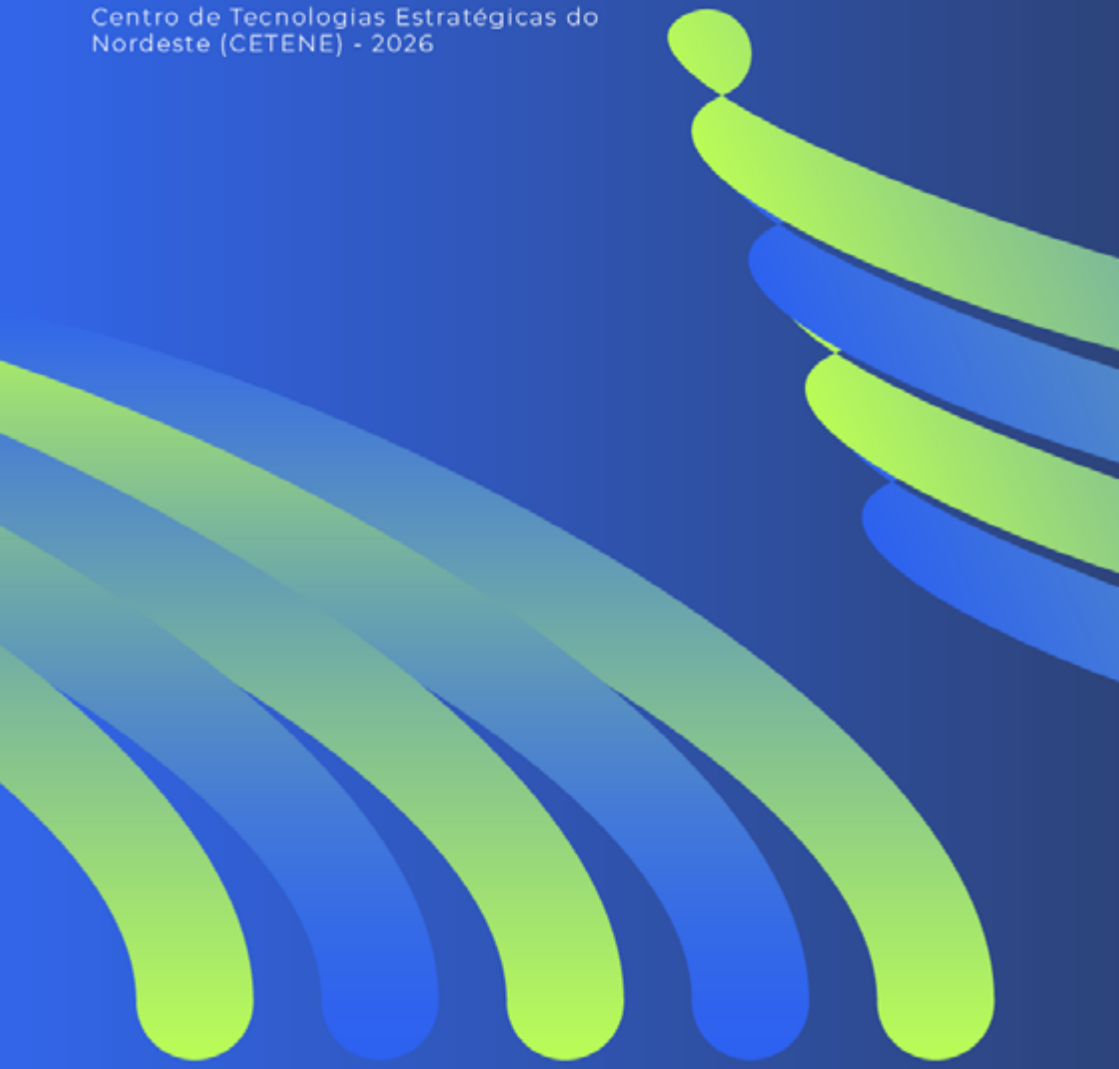
Anais da II Jornada Científica do Programa de Capacitação Institucional

Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE) - 2026



Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste - CETENE

Anais da II Jornada Científica do Programa de Capacitação Institucional

Recife, maio de 2026

EXPEDIENTE

Comissão Organizadora
Arthur Victor Santos de Campos
Elcir Trindade Vero
Frederico Toscano Barreto Nogueira
Gina Imperial
Gláucia Bruce
Hemilly da Silva de Oliveira
Jocélio de Oliveira
Rebeca da Silva Cantinha

Coordenação do PCI
Frederico Toscano Barreto Nogueira

Comissão Avaliadora
Adriana Soares de Carvalho
Ana Carla da Silva Santos
Elcio Liberato Pires
Júlia Morais Fernandes
Olavo Dhyan de Farias Cardozo

Palestrantes
Cidoval Morais de Sousa
Diana Cruz Rodrigues
Luiz Adriano Santos do Nascimento

Editoração dos Anais
Assessoria de Comunicação
Comissão Organizadora

Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste - CETENE

Marcelo Brito Carneiro Leão
Diretor

Frederico Toscano Barreto Nogueira
Coordenador de Gestão Administrativa

Érica Monteiro Ladislau
Chefe da Divisão de Orçamentos e Finanças

Elcir Trindade Vero
Chefe do Serviço de Pessoal

James Correia de Melo
Coordenador de Desenvolvimento Tecnológico

Eduardo Eugênio Ferreira Campos
Setor de Apoio a Compras – SEACO

André Luís de França Dias
Setor de Apoio a Serviços Técnicos - SEAST

Organização
Frederico Toscano
Revisão
Rebeca Cantinha
Projeto Gráfico
Angela Sarinho
Diagramação
Jocélio Oliveira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Jornada Científica do Programa de Capacitação Institucional (2. : 2026 : Recife, PE)
Anais da II Jornada Científica do Programa de Capacitação Institucional [livro eletrônico]. -- 1. ed. -- Recife, PE : Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste, 2026.
PDF

Vários autores.
Vários organizadores.
Vários colaboradores.
ISBN 978-65-978412-0-2

1. Biotecnologia 2. Capacitação profissional 3. Computação - Estudo e ensino 4. Gestão de qualidade 5. Nanotecnologia I. Título.

26-409618.0 CDD-370.113

Índices para catálogo sistemático:

1. Educação profissional 370.113

Aline Graziele Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE)
Avenida Professor Luiz Freire, 01
Cidade Universitária, Recife - PE
50740-545
81 3334-7200
faleconosco@cetene.gov.br
gov.br/cetene

Como citar esse documento:
JORNADA CIENTÍFICA DO PROGRAMA DE CAPACITAÇÃO INSTITUCIONAL, 2., 2026, Recife. Anais [...]. Recife: Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste, 2026. 1 recurso online (58 p.). ISBN 978-65-978412-0-2. Disponível em: [inserir link/URL]. Acesso em: [dia mês ano]

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO **7**

BIOTECNOLOGIA **9**

1. *Estabelecimento in vitro de sementes de Moringa oleifera Lam. sob diferentes métodos de desinfestação* 10

2. *Seleção de bioinsumos com potencial para mitigar os efeitos do estresse hídrico em feijão comum* 13

3. *Efeito de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) na tolerância ao estresse hídrico em feijoeiro-comum (Phaseolus vulgaris L.) no Nordeste do Brasil* 16

4. *Desenvolvimento e Caracterização de Membranas de Matriz Mista de Ultrafiltração Aplicadas ao Pré-tratamento de Osmose Reversa no Semiárido Pernambucano* 20

5. *Caatinga Viva: Caracterização Integrada e Bioatividade de Óleos Essenciais de Folhas de Lippia origanoides Kunth* 23

6. *Qualidade do solo, Estoque de carbono e Respostas fisiológicas de espécies vegetais da Caatinga* 26

7. *Nanocatalisadores a partir de resíduos de* ***Pachira aquatica*** *aplicados na produção de biodiesel* 30

COMPUTAÇÃO APLICADA ***34***

8. Desenvolvimento de plataformas IoT (Internet of Things) com Blockchain aplicada ao Agronegócio *35*

GESTÃO DA QUALIDADE E DA INOVAÇÃO ***39***

9. Implementação do SGQ em conformidade com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 *40*

10. Governança da inovação no CETENE: instrumentos, processos e metodologias para a consolidação do NIT *43*

NANOTECNOLOGIA ***47***

11. Obtenção de Fotocátodos à Base de Co3O4 para Geração de Hidrogênio Verde por Fotoeletrocatálise *48*

12. Aproveitamento de Lodo de Lavanderias para Produção de Nanomateriais Sustentáveis com Potencial Aplicação em Fotocatálise e Nanofertilizantes *51*

13. Células solares tandem de camadas inorgânicas à base de perovsitas CsPbI3 e CsPbBr3 *55*

APRESENTAÇÃO

É com grande satisfação que apresentamos os Anais da II Jornada Científica do Programa de Capacitação Institucional, realizada ao longo de todo o mês de maio de 2026. Este evento reuniu os resultados parciais e finais das pesquisas desenvolvidas pelos bolsistas do PCI da Instituição, reforçando nosso compromisso com a transparência, a difusão científica e a excelência acadêmica.

O Programa de Capacitação Institucional desempenha um papel fundamental no fortalecimento da pesquisa e da inovação no Brasil. Ao atrair e fixar talentos qualificados em nossas equipes, o PCI renova o fôlego científico da instituição, impulsiona projetos estratégicos e viabiliza a geração de conhecimento de alto impacto para a sociedade.

Esta edição foi aberta à participação do público externo, o que possibilitou um rico diálogo entre a comunidade científica e a sociedade. Todos os trabalhos apresentados foram rigorosamente avaliados por uma banca examinadora composta por pesquisadores da nossa própria instituição, garantindo o acompanhamento crítico e o aprimoramento das pesquisas.

Esta publicação reúne os resumos dos trabalhos apresentados ao longo do evento, refletindo a diversidade temática, e o conhecimento dos nossos bolsistas. Cada apresentação representou não apenas um balanço do estágio atual de suas pesquisas, mas também um momento rico de troca de experiências, debate construtivo e alinhamento com as grandes diretrizes científicas e tecnológicas do MCTI.

Como reconhecimento ao empenho e à qualidade dos resultados apresentados até o presente momento, o evento premiou os três melhores trabalhos e concedeu menção honrosa aos dez trabalhos subsequentes de maior destaque.

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecno-

lógico (CNPq) e ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) pelo fomento ao Programa; aos supervisores e pareceristas pelo acompanhamento dedicado; aos pesquisadores que compuseram a banca examinadora por suas contribuições inestimáveis; ao público visitante pela presença; e, de maneira especial, a cada bolsista PCI pelo empenho e pelo brilho demonstrados.

Desejamos a todos uma leitura proveitosa e inspiradora.

Comissão Organizadora da II Jornada CETENE de Inovação

Recife, Maio de 2026.

BIOTECNOLOGIA

Estabelecimento in vitro de sementes de Moringa oleifera Lam. sob diferentes métodos de desinfestação

In vitro establishment of Moringa oleifera Lam. seeds under different disinfestation methods

Andreza Gonçalves dos Santos
James Correia Melo (Supervisor)
andreza.santos@cetene.gov.br / james.melo@cetene.gov.br

Resumo:
A Moringa oleifera Lam. destaca-se como uma espécie de grande relevância agrícola, nutricional e farmacêutica, devido ao rápido crescimento, elevada produção de biomassa e múltiplas aplicações em sistemas sustentáveis de produção. Nesse contexto, a propagação in vitro surge como uma estratégia eficiente para a obtenção de mudas geneticamente uniformes e com elevada qualidade fitossanitária. Entretanto, a contaminação microbiana durante o estabelecimento inicial das culturas representa um dos principais desafios para o sucesso dessa técnica, exigindo protocolos de desinfestação cada vez mais eficazes. Assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar o estabelecimento in vitro de sementes de Moringa oleifera cultivadas em meio 0 MS, comparando diferentes concentrações de hipoclorito de sódio (NaOCl) e nanopartículas de prata quanto à germinação, contaminação e desenvolvimento inicial das plântulas. O estudo foi conduzido no Laboratório de Biocombustíveis (LABIO), pertencente ao Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE), utilizando sementes maduras provenientes de plantas matrizes localizadas no município de Caruaru, Pernambuco. Após preparo e desinfestação inicial, as sementes foram submetidas a tratamentos com hipoclorito de sódio (0,5%, 1,0% e 2,5%) e nanopartículas de prata (0,5%, 1,0% e 2,0%) por 10 minutos. Em seguida, foram inoculadas em meio 0 MS e cultivadas em delineamento inteiramente casualizado, com três tratamentos e 20 repetições. Aos 3, 7, 14 e 21 dias, avaliaram-se germinação, contaminação, tempo médio de germinação, crescimento da parte aérea e das raízes, além do vigor das

plântulas. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey, considerando nível de significância de 5%. Os resultados demonstraram que os tratamentos com nanopartículas favoreceram a velocidade de germinação, especialmente nas concentrações de 0,5% e 1,0%, apresentando respostas mais expressivas nos primeiros sete dias de cultivo. Por outro lado, concentrações mais elevadas de hipoclorito de sódio resultaram em menor desempenho inicial, possivelmente em razão dos efeitos oxidativos provocados sobre os tecidos embrionários. Apesar dessas diferenças iniciais, observou-se que, aos 14 e 21 dias, a germinação tornou-se semelhante entre os tratamentos, indicando que os efeitos observados estiveram relacionados principalmente à rapidez da emergência das plântulas. Em relação ao crescimento, o maior comprimento da parte aérea foi registrado nas sementes tratadas com NaOCl a 0,5%, enquanto o desenvolvimento radicular mais expressivo ocorreu com nanopartículas na concentração de 1,0%. Esses resultados evidenciam que os diferentes agentes de desinfestação podem influenciar de forma distinta os processos fisiológicos envolvidos no crescimento vegetal. Conclui-se que as nanopartículas de prata constituem uma alternativa promissora para o estabelecimento in vitro de Moringa oleifera, uma vez que aceleram a germinação e favorecem o crescimento radicular, principalmente nas concentrações de 0,5% e 1,0%. Embora o hipoclorito de sódio tenha demonstrado eficiência na desinfestação, seus melhores resultados foram observados apenas em baixas concentrações. Dessa forma, o uso de nanopartículas apresenta potencial para otimizar protocolos de micropropagação da espécie, contribuindo para a produção de mudas de maior qualidade e para o avanço de tecnologias aplicadas à propagação vegetal.

Palavras-chaves: Moringa oleifera. Cultura de tecidos vegetais. Nanopartículas de prata. Micropropagação. Germinação in vitro.

Abstract:
Moringa oleifera Lam. is an important agricultural, nutritional, and pharmaceutical species with high potential for sustainable production systems. This study evaluated the in vitro establishment of M. oleifera seeds cultured on 0 MS

medium using different concentrations of sodium hypochlorite (NaOCl) and silver nanoparticles as disinfection agents. Mature seeds were treated with NaOCl (0.5%, 1.0%, and 2.5%) and silver nanoparticles (0.5%, 1.0%, and 2.0%) for 10 min and inoculated in 0 MS medium. Germination, contamination, seedling vigor, shoot length, and root development were assessed at 3, 7, 14, and 21 days after inoculation. Silver nanoparticles, particularly at 0.5% and 1.0%, promoted faster germination and greater root development, while 0.5% NaOCl resulted in the greatest shoot growth. Higher NaOCl concentrations reduced initial performance, although germination rates became similar among treatments after 14 days. The results indicate that silver nanoparticles are a promising alternative for improving the in vitro establishment of M. oleifera, contributing to faster germination and enhanced seedling development.

Keywords: Moringa oleifera. Plant tissue culture. Silver nanoparticles. Micropropagation. In vitro germination.

Seleção de bioinsumos com potencial para mitigar os efeitos do estresse hídrico em feijão comum

Selection of bio-inputs with potential to mitigate the effects of water stress in common bean

Jacqueline Wanessa de Lima Pereira
Bianca Galúcio Pereira Araújo (Supervisora)
jacqueline.pereira@cetene.gov.br / bianca.araujo@cetene.gov.br

Resumo

O feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) é uma das principais leguminosas cultivadas e consumidas no mundo, cujos grãos são fonte de proteínas, carboidratos, fibras, vitaminas e minerais. Para o setor agrícola, trata-se de uma cultura de grande importância em nível mundial, destacando-se o Brasil como o segundo maior produtor de feijão. No entanto, em decorrência do aquecimento global, eventos climáticos extremos, como a seca, são responsáveis por impactos mais intensos nos sistemas agrícolas. A água é considerada um dos elementos mais importantes para o desenvolvimento das plantas e sua falta, dependendo do período e fase fenológica, é expressivamente limitante para o crescimento e desempenho da cultura, levando a perdas significativas. Em áreas de produção com restrição hídrica, uma alternativa biotecnológica e sustentável é a utilização de Microrganismos Promotores do Crescimento de Plantas (MPCP), os quais são capazes de associar-se as plantas e mitigar os efeitos do estresse hídrico. Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo selecionar bioinsumos, por meio de variáveis fisiológicas e bioquímicas, com potencial para mitigar os efeitos do estresse hídrico em feijão comum. O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação, localizada no Instituto Agronômico de Pernambuco - IPA, foram utilizadas três variedades de feijão comum, pertencente ao Banco Ativo de Germoplasma do IPA, as quais apresentam as principais caraterísticas de tolerância/sensibilidade ao estresse abiótico: Cultivar BRS Pontal (tolerante à seca); Cultivar IPA 10 (sensível à seca); Cultivar IPA 6 (tolerante a temperaturas elevadas) e dois isolados de fungos (Trichoderma sp.) e dois isolados de bactéria (Priestia

sp. e Bacillus sp.). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três fatores, no esquema 3x2x4, constituidos por: três variedades de feijão comum x duas condições hídricas x quatro isolados, com quatro repetições. A parcela foi representada por três vasos. As regas foram mantidas diariamente, mantendo-se a umidade próxima à capacidade de campo. A imposição do estresse hídrico foi no início da floração média, com suspensão de 50% do volume da irrigação. Aos sete, 14 e 21 dias após a imposição do estresse hidrico, foram realizadas as avaliações fisiológicas (Transpiração, Condutância estomática, Fotossíntese, Eficiência quântica do fotossistema II, Teores de clorofila a, b e total) e foram coletados tecidos foliares para as análises bioquímicas (Determinação dos teores de malondialdeído - MDA, prolina, proteínas totais e atividade das enzimas antioxidativas catalase, ascorbato peroxidase e guaiacol peroxidase). Os resultados poderão contribuir para o desenvolvimento de bioinsumos sustentáveis voltados à mitigação dos efeitos da seca na cultura do feijão, favorecendo a resiliência dos sistemas produtivos da região Nordeste, tornando os produtores regional mais competitivos no agronegócio.
Palavras-chave: Phaseolus vulgaris L.; Seca; Fisiologia Vegetal; Cultivo Agroecológico; Sustentabilidade.

Abstract

The common bean (Phaseolus vulgaris L.) is one of the main legumes grown and consumed worldwide, with its beans being a source of proteins, carbohydrates, fiber, vitamins, and minerals. For the agricultural sector, it's a crop of great importance globally, with Brazil standing out as the second-largest bean producer. However, due to global warming, extreme weather events, such as drought, are causing more intense impacts on agricultural systems. Water is considered one of the most important elements for plant development, and its lack, depending on the period and growth stage, can seriously limit crop growth and performance, leading to significant losses. In production areas with water restrictions, a biotechnological and sustainable alternative is using Plant Growth-Promoting Microorganisms (PGPM), which can associate with plants and help lessen the effects of water stress. In light of the above, this work aims to select bioproducts, through

physiological and biochemical variables, with the potential to mitigate the effects of water stress in common beans. The experiment was conducted in greenhouse conditions at the Agronomic Institute of Pernambuco - IPA. Three varieties of common bean were used, belonging to the IPA Active Germplasm Bank, which show the main characteristics of tolerance/sensitivity to abiotic stress: Cultivar BRS Pontal (drought-tolerant); Cultivar IPA 10 (drought-sensitive); Cultivar IPA 6 (tolerant to high temperatures), as well as two fungal isolates (Trichoderma sp.) and two bacterial isolates (Priestia sp. and Bacillus sp.). The experimental design was completely randomized, with three factors in a 3x2x4 scheme, consisting of three common bean varieties x two water conditions x four isolates, with four replications. Each plot was represented by three pots. Watering was maintained daily, keeping the moisture close to field capacity. Water stress was imposed at the beginning of mid-flowering by suspending 50% of the irrigation volume. At seven, 14, and 21 days after the water stress was imposed, physiological evaluations (Transpiration, Stomatal Conductance, Photosynthesis, Quantum Efficiency of Photosystem II, Chlorophyll a, b, and total contents) were carried out, and leaf tissues were collected for biochemical analyses (Determination of malondialdehyde MDA, proline, total proteins, and antioxidant enzyme activities catalase, ascorbate peroxidase, and guaiacol peroxidase).

Keywords: Phaseolus vulgaris L.; Drought; Plant Physiology; Agroecological Cultivation; Sustainability.

Efeito de bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) na tolerância ao estresse hídrico em feijoeiro-comum (Phaseolus vulgaris L.) no Nordeste do Brasil

Effect of plant growth-promoting bacteria (PGPB) on water stress tolerance in common bean (Phaseolus vulgaris L) in Northeastern Brazil

Jamile Erica de Medeiros
Bianca Galúcio Pereira Araújo (Supervisora)
jamile.medeiros@cetene.gov.br / bianca.araujo@cetene.gov.br

Resumo

O feijão-comum (Phaseolus vulgaris L.) constitui uma das principais culturas alimentares do mundo e apresenta grande importância econômica e social no Brasil. Entretanto, limitações edafoclimáticas, especialmente o déficit hídrico, comprometem o desenvolvimento e a produtividade da cultura, sendo um dos principais entraves à produção em áreas semiáridas do Nordeste brasileiro. Nesse contexto, as Bactérias Promotoras de Crescimento de Plantas (BPCP) têm sido estudadas como alternativa tecnológica sustentável para aumentar a tolerância das plantas ao estresse hídrico e reduzir a dependência de insumos químicos. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da inoculação de dois isolados bacterianos T99 e T11, pertencentes aos gêneros Bacillus e Priestia, respectivamente, sobre cultivares de feijão-comum submetidas a diferentes regimes hídricos. O experimento foi conduzido em casa de vegetação utilizando as cultivares BRS Pontal (tolerante ao déficit hídrico), IPA-10 (sensível ao déficit hídrico) e IPA-7 (tolerante à altas temperaturas), tanto como tratamento controle, como tratamentos associados à inoculação com os isolados bacterianos e a dois níveis de irrigação, correspondentes a 100% e 50% da rega. O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 3x2x3 (três cultivares; dois regimes hídricos; sem microrganismo, com o isolado T99 e com o isolado T11), com quatro repetições, sendo a parcela experimental composta por 3 vasos contendo uma planta. Previa-

mente à instalação do experimento em casa de vegetação, foram realizados testes de qualidade fisiológica das sementes, incluindo determinação do grau de umidade, emergência e vigor. As avaliações preliminares evidenciaram adequada qualidade fisiológica dos lotes utilizados, com teores de umidade variando entre 9,27% e 9,61%, valores compatíveis para comercialização, de acordo com o estabelecido pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Para os parâmetros envolvendo emergência e vigor, foi observada diferença estatística apenas entre as cultivares para a variável primeira contagem de germinação, segundo o teste de Tukey a 5% de probabilidade, não sendo verificadas diferenças significativas associadas aos tratamentos bacterianos nos demais parâmetros avaliados. Durante a condução do experimento em casa de vegetação, realizada na sede do Instituto Agronômico de Pernambuco (IPA), foram realizadas avaliações morfológicas das plantas, incluindo observações fenotípicas de flor, folhas, vagens, além de parâmetros agronômicos como comprimento e largura do folíolo central, número de vagens por pedúnculo, número de vagens por planta, floração, maturação fisiológica, ciclo total, comprimento de dez vagens, número de lóculos cheios e vazios, produção e produtividade. Até o momento, as avaliações morfológicas não evidenciaram alterações fenotípicas associadas aos tratamentos aplicados. As demais variáveis agronômicas se encontram em fase final de mensuração, com os dados obtidos sendo organizados para submissão à análise estatística para avaliação dos efeitos da inoculação bacteriana e dos regimes hídricos sobre o desempenho das cultivares. Os dados obtidos até esta etapa evidenciam a adequada condução experimental e possibilitarão avaliar a contribuição dos isolados T99 e T11 na resposta do feijoeiro-comum ao déficit hídrico após a conclusão das análises estatísticas.

Palavras-chave: déficit hídrico. bioinsumos. Bacillus. Priestia. produtividade

Abstract

Common bean (Phaseolus vulgaris L.) is one of the world's main food crops and has great economic and social importance in Brazil. However, edaphoclimatic limitations, especially water deficit, compromise the development and productivity of the crop, being one of the main obstacles to production in semi-arid areas

of Northeast Brazil. In this context, Plant Growth Promoting Bacteria (PGPB) have been studied as a sustainable technological alternative to increase plant tolerance to water stress and reduce dependence on chemical inputs. This study aimed to evaluate the effect of inoculation with two bacterial isolates, T99 and T11, belonging to the genera Bacillus and Priestia, respectively, on common bean cultivars applied to different water regimes. The experiment was conducted in a greenhouse using the cultivars BRS Pontal (tolerant to water deficit), IPA-10 (sensitive to water deficit), and IPA-7 (tolerant to high temperatures), both as a control treatment and as treatments associated with inoculation with bacterial isolates and two temperature levels, corresponding to 100% and 50% of irrigation. The experimental design adopted was a randomized particular design, in a 3x2x3 factorial scheme (three cultivars; two water regimes; without microorganisms, with isolate T99, and with isolate T11), with four replications, the experimental plot consisting of 3 pots containing one plant. Prior to setting up the experiment in the greenhouse, physiological quality tests of the seeds were performed, including determination of moisture content, emergence, and vigor. Preliminary research has shown that the batches used have adequate physiological quality, with moisture contents ranging between 9.27% and 9.61%, values that are compatible with commercialization, according to the requirements of the Ministry of Agriculture, Livestock and Supply. For the parameters involving emergence and vigor, a statistically significant difference was observed only between cultivars for the variable first germination count, according to Tukey's test at 5% probability. No significant differences associated with the bacterial treatments were found in the other parameters evaluated. During the greenhouse experiment, conducted at the headquarters of the Agronomic Institute of Pernambuco (IPA), morphological evaluations of the plants were performed, including phenotypic observations of flowers, leaves, and pods, as well as agronomic parameters such as length and width of the central leaflet, number of pods per peduncle, number of pods per plant, flowering, physiological maturity, total cycle, length of ten pods, number of full and empty locules, production, and productivity. To date, the morphological evaluations have not shown phenotypic alterations associated with the applied treatments. The remaining agronomic varia-

bles are in the final measurement phase, with the data obtained being organized for statistical analysis to evaluate the effects of bacterial inoculation and water regimes on cultivar performance. The data obtained up to this stage demonstrate the proper conduct of the experiment and will allow for the evaluation of the contribution of isolates T99 and T11 to the common beari's response to water deficit after the statistical analyses are completed.

Keywords: water deficit. bio-inputs. Bacillus. Priestia. yield

Desenvolvimento e Caracterização de Membranas de Matriz Mista de Ultrafiltração Aplicadas ao Pré-tratamento de Osmose Reversa no Semiárido Pernambucano

Development and Characterization of Mixed-Matrix Ultrafiltration Membranes Applied to Reverse Osmosis Pretreatment in the Pernambuco Semiarid Region

Lizandra Karolyn Silva Lima
James Correia de Melo
lizandra.lima@cetene.gov.br / james.melo@cetene.gov.br

Resumo

A escassez hídrica e a elevada salinidade das águas subterrâneas representam desafios significativos para o abastecimento de água no semiárido pernambucano. Nesse contexto, a dessalinização por osmose reversa destaca-se como alternativa para obtenção de água potável, embora sua eficiência seja frequentemente comprometida pela ocorrência de fouling nas membranas. Assim, o desenvolvimento de etapas de pré-tratamento mais eficientes torna-se essencial para aumentar a vida útil e o desempenho dos sistemas de dessalinização. Este trabalho tem como objetivo desenvolver e caracterizar membranas de ultrafiltração de matriz mista destinadas ao pré-tratamento de sistemas de osmose reversa, utilizando materiais poliméricos e cargas sustentáveis obtidas a partir de resíduos lignocelulósicos e argilas bentoníticas. As membranas serão produzidas pelo método de inversão de fases por precipitação em não-solvente, empregando poliétersulfona (PES) e acetato de celulose (AC) como matriz polimérica, polivinilpirrolidona (PVP) como aditivo e, como fases dispersas, biochar obtido de vagem de moringa (Moringa oleifera), casca de munguba (Pachira aquatica) ou argilas bentoníticas. Paralelamente, foram projetados dois sistemas de filtração em fluxo tangencial: um sistema de bancada destinado à avaliação inicial de permeabilidade, integridade estrutural e detecção de defeitos das membranas, e um sistema em escala intermediária correspondente ao nível de maturidade tecnológica TRL 5, projetado para operar em condições mais próximas da aplicação real. Os módulos de filtração

foram modelados em CAD e projetados para impressão 3D, permitindo flexibilidade na construção e futura adaptação a diferentes configurações operacionais. Além disso, foram realizadas a caracterização das biomassas por FTIR, DRX e TGA e caracterização das argilas por FTIR, DRX, difração a laser, MEV e adsorção de N2 (BET/BJH). Os resultados indicaram que as biomassas apresentam composição típica de materiais lignocelulósicos, com presença de celulose, hemicelulose e lignina, além de estabilidade térmica adequada para produção de biochar em temperaturas entre 400 e 500 °C. As argilas bentoníticas apresentaram predominância da fase montmorilonita, estrutura mesoporosa e características promissoras para incorporação em membranas de matriz mista. A amostra MMT-A apresentou menor tamanho de partículas e distribuição granulométrica mais homogênea, enquanto a amostra MMT-B apresentou maior área superficial específica (117,35 $m^2 \cdot g^{-1}$) e maior volume de poros. Adicionalmente, foram definidos os parâmetros de fabricação das membranas e concluído o projeto conceitual e construtivo dos sistemas de fluxo tangencial. Conclui-se que os materiais selecionados apresentam potencial para aplicação em membranas de ultrafiltração voltadas ao pré-tratamento da osmose reversa e que os sistemas projetados constituem uma infraestrutura experimental capaz de viabilizar a avaliação progressiva da tecnologia, desde a escala laboratorial até condições mais próximas da aplicação prática, contribuindo para o desenvolvimento de soluções sustentáveis para o tratamento de águas salobras no semiárido pernambucano.

Palavras-chave: Ultrafiltração. Membranas de Matriz Mista. Osmose Reversa. Biochar. Argila Bentonítica.

Abstract

Water scarcity and the high salinity of groundwater sources represent significant challenges for water supply in the Pernambuco semiarid region. In this context, reverse osmosis desalination stands out as an alternative for producing drinkable water; however, its efficiency is often compromised by membrane fouling. Therefore, the development of more efficient pretreatment processes is essential to enhance the lifespan and performance of desalination systems. This work aims to develop and characterize mixed-matrix ultrafiltration membranes intended for reverse osmosis pretreatment, using

polymeric materials and sustainable loads derived from lignocellulosic residues and bentonitic clays. The membranes will be produced by the non-solvent induced phase separation (NIPS) method, employing polyethersulfone (PES) and cellulose acetate (CA) as polymer matrices, polyvinylpyrrolidone (PVP) as an additive, and biochar obtained from Moringa oleifera pods, Pachira aquatica fruit peels, or bentonitic clays as dispersed phases. In parallel, two tangential-flow filtration systems were designed: a bench-scale system intended for the initial evaluation of membrane permeability, structural integrity, and defect detection, and an intermediate-scale system corresponding to Technology Readiness Level (TRL) 5, designed to operate under conditions closer to real applications. The filtration modules were modeled in CAD and designed for 3D printing, enabling flexibility in construction and future adaptation to different operational configurations. In addition, biomass characterization was carried out using FTIR, XRD, and TGA, while clay characterization was performed using FTIR, XRD, laser diffraction particle size analysis, SEM, and N2 adsorption-desorption techniques (BET/BJH). The results indicated that the biomasses exhibit a typical lignocellulosic composition, containing cellulose, hemicellulose, and lignin, as well as adequate thermal stability for biochar production at temperatures between 400 and 500 °C. The bentonitic clays showed a predominance of the montmorillonite phase, mesoporous structure, and promising characteristics for incorporation into mixed-matrix membranes. The MMT-A sample exhibited a smaller particle size and a more homogeneous particle size distribution, whereas the MMT-B sample presented a higher specific surface area (117.35 $m^2 \cdot g^{-1}$) and greater pore volume. Furthermore, membrane fabrication parameters were established, and the conceptual and engineering design of the tangential-flow systems was completed. It can be concluded that the selected materials have potential for application in ultrafiltration membranes for reverse osmosis pretreatment and that the projected systems provide an experimental infrastructure capable of supporting the progressive evaluation of the technology, from laboratory scale to conditions closer to practical application, contributing to the development of sustainable solutions for brackish water treatment in the Pernambuco semiarid region.

Keywords: Ultrafiltration. Mixed-Matrix Membranes. Reverse Osmosis. Biochar. Bentonite Clay.

Caatinga Viva: Caracterização Integrada e Bioatividade de Óleos Essenciais de Folhas de Lippia origanoides Kunth

Caatinga Viva: Integrated Characterization and Bioactivity of Essential Oils from Lippia origanoides Kunth Leaves

Milena Fernandes da Silva
Juliana Pereira da Silva Carvalho
Paloma Silva
Raudiney Mendes
Ivanesa Soares
Henrique Costa
Monaliza Santos
José Luís Sá
Attilio Converti
Ladivania Medeiros do Nascimento
Júlia Morais Fernandes
James Correia de Melo (Supervisor)
milena.silva@cetene.gov.br / james.melo@cetene.gov.br

Resumo

A Caatinga representa um dos biomas mais singulares do Brasil, abrigando elevada biodiversidade e espécies vegetais com potencial estratégico para a inovação, a conservação ambiental e o fortalecimento da bioeconomia. Entre essas espécies destaca-se Lippia origanoides Kunth (Verbenaceae), conhecida popularmente como alecrim-pimenta ou orégano-do-mato, uma planta valiosa utilizada por comunidades tradicionais devido às suas propriedades medicinais, aromáticas e condimentares. Tradicionalmente utilizada na medicina popular para o tratamento de distúrbios respiratórios, gastrointestinais e inflamatórios, a espécie integra o grupo de plantas medicinais de interesse para o Sistema Único de Saúde (SUS/ReniSUS), constituindo um recurso promissor para agregar valor à biodiversidade do Nordeste brasileiro. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo realizar uma abordagem integrada para a caracterização físico-química e a avaliação da bioatividade de óleos essenciais extraídos de folhas de L. origanoides coletadas em diferentes localidades de Recife/Pernambuco, Brasil, contribuindo para

a geração de conhecimento científico voltado ao uso sustentável dos recursos naturais e ao conceito de inovar para proteger. As amostras foliares foram submetidas à análise micromorfológica por microscopia eletrônica de varredura (MEV), enquanto os óleos essenciais foram obtidos por hidrodestilação e caracterizados por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM). Adicionalmente, foram investigadas as atividades antioxidante e inibitória da enzima acetilcolinesterase por ensaios in vitro. Os resultados revelaram a presença predominante dos monoterpenos fenólicos carvacrol e timol, compostos amplamente reconhecidos por suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas. As análises micromorfológicas evidenciaram tricomas glandulares e não glandulares com distribuição semelhante entre as amostras avaliadas, indicando características estruturais relacionadas à biossíntese e ao armazenamento dos metabólitos secundários. Os óleos essenciais apresentaram elevada capacidade antioxidante e expressiva atividade inibitória da acetilcolinesterase, sugerindo potencial aplicação no desenvolvimento de agentes naturais voltados ao manejo de doenças neurodegenerativas associadas ao estresse oxidativo, como a doença de Alzheimer. Conclui-se que L. origanoides constitui uma importante fonte de compostos bioativos com potencial farmacêutico, biotecnológico e socioeconômico, reforçando a relevância da biodiversidade da Caatinga para a geração de soluções inovadoras capazes de promover qualidade de vida, desenvolvimento sustentável e valorização dos conhecimentos das comunidades tradicionais. Os resultados fortalecem ainda a importância estratégica da pesquisa científica para impulsionar a bioeconomia regional e ampliar o aproveitamento sustentável dos recursos naturais do Nordeste brasileiro.

Palavras-chave: Biodiversidade. Óleos essenciais. Caatinga. Fitoquímica. Produtos naturais.

Abstract

The Caatinga biome represents one of the most unique ecosystems in Brazil, harboring remarkable biodiversity and plant species with strategic potential for innovation, environmental conservation, and bioeconomy development. Among these species, Lippia origanoides Kunth (Verbenaceae), popularly known as alecrim-pimenta or wild oregano, stands out as a valuable plant used by traditional communities because

of its medicinal, aromatic, and culinary properties. Traditionally used in folk medicine to treat respiratory, gastrointestinal, and inflammatory disorders, this species is also associated with medicinal plants of interest to the Brazilian Unified Health System (SUS/ReniSUS), representing a promising resource for the sustainable valorization of biodiversity in Northeastern Brazil. In this context, the present study aimed to perform an integrated approach for the physicochemical characterization and bioactivity assessment of essential oils extracted from L. origanoides leaves collected in different locations in Recife/Pernambuco, Brazil, contributing to scientific knowledge focused on sustainable resource use and the concept of innovating to protect. Leaf samples were subjected to micromorphological analysis using scanning electron microscopy (SEM), while essential oils were obtained by hydrodistillation and characterized by gas chromatography coupled with mass spectrometry (GC-MS). In addition, antioxidant and acetylcholinesterase inhibitory activities were investigated through in vitro assays. The results revealed the predominance of the phenolic monoterpenes carvacrol and thymol, compounds widely recognized for their antioxidant and antimicrobial properties. Micromorphological analyses demonstrated the presence of glandular and non-glandular trichomes with similar distribution patterns among the evaluated samples, indicating structural features associated with the biosynthesis and storage of secondary metabolites. The investigated essential oils exhibited strong antioxidant capacity and significant acetylcholinesterase inhibitory activity, suggesting promising applications in the development of natural agents for the management of neurodegenerative disorders associated with oxidative stress, including Alzheimer's disease. In conclusion, L. origanoides represents an important source of bioactive compounds with pharmaceutical, biotechnological, and socioeconomic potential, highlighting the relevance of Caatinga biodiversity for generating innovative solutions that promote quality of life, sustainable development, and the appreciation of traditional communities' knowledge. Furthermore, the findings reinforce the strategic role of scientific research in strengthening regional bioeconomy initiatives and expanding the sustainable use of natural resources from Northeastern Brazil.

Keywords: Biodiversity. Essential oils. Caatinga. Phytochemistry. Natural products.

Qualidade do solo, Estoque de carbono e Respostas fisiológicas de espécies vegetais da Caatinga

Soil quality, Carbon stocks, and Ecophysiological responses of Caatinga plant species

Monaliza Alves dos Santos
James Correia de Melo (Supervisor)
monaliza.santos@cetene.gov.br / james.melo@cetene.gov.br

Resumo

O solo é um compartimento importante para a regulação do funcionamento dos ecossistemas terrestres e da ciclagem do carbono (C). O aporte de C ao solo ocorre principalmente por meio da deposição de biomassa vegetal, cuja produção depende da fixação do dióxido de carbono atmosférico pela fotossíntese. Nesse contexto, a compreensão da qualidade do solo e dos fluxos de carbono no sistema solo-planta assume papel estratégico para subsidiar ações voltadas à sustentabilidade ambiental e à bioeconomia regional. Dessa forma, o estudo foi desenvolvido com o objetivo de investigar as interações entre atributos químicos e físicos do solo, a dinâmica do carbono e as respostas ecofisiológicas de espécies vegetais, visando compreender as suas implicações para sistemas produtivos de baixo carbono. Foram avaliadas as espécies aromáticas Lippia origanoides, Lippia hermannioides, Eplingiella fruticosa e Croton grewioides. A caracterização química dos solos, sob o cultivo das espécies vegetais, foi realizado por meio da determinação do pH em água, fósforo disponível (P), cátions trocáveis (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+} e Al^{3}), a CTC e o carbono orgânico do solo. Também foram avaliadas a granulometria, a densidade do solo, a condutividade hidráulica saturada, a condutividade elétrica e o pH da solução do solo. Para as respostas fisiológicas das plantas foram determinados o potencial hídrico foliar e a fluorescência da clorofila a. A anatomia foliar e as análises micromorfológicas foram determinadas por microscopia óptica e microscopia eletrônica de varredura. Adicionalmente, foram estimados os estoques de carbono do solo, da biomassa vegetal e do sistema. Os resultados revelaram variabilidade nos atributos químicos do solo. Os

estoques de carbono do solo variaram entre 10,29 e 42,47 t ha^{-1}. O maior estoque total de carbono foi observado no sistema solo-Lippia origanoides, atingindo 49,22 t ha^{-1}, equivalente a aproximadamente 180,6 t CO_2e ha^{-1}, evidenciando o potencial desses sistemas para o sequestro e a estabilização de carbono. As espécies apresentaram potenciais hídricos entre -0,74 e -1,41 MPa, caracterizando condições de déficit hídrico moderado compatíveis com adaptações fisiológicas típicas de espécies do Semiárido Nordestino. Apesar dessa condição, os parâmetros de fluorescência da clorofila indicaram manutenção da funcionalidade fotossintética, com valores de Fo (4.253 a 5.066), Fm (11.420 a 13.138), Fv (6.534 a 8.205) e eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II (Fv/Fm) variando de 0,75 a 0,84. As análises anatômicas destacaram a presença de tricomas tectores, tricomas glandulares e estruturas secretoras associadas ao controle hídrico, à proteção foliar e à produção de metabólitos secundários. As espécies dos gêneros Lippia e Eplingiella apresentaram elevada densidade de estruturas secretoras potencialmente relacionadas à biossíntese de óleos essenciais, enquanto o Croton grewioides destacou-se pela predominância de estruturas de proteção física. Portanto, a associação entre maiores estoques de carbono, manutenção do estado hídrico foliar, elevada eficiência fotossintética e a presença de estruturas adaptativas sugere que a qualidade do solo influencia a disponibilidade hídrica e o desempenho ecofisiológico das espécies avaliadas, com potencial contribuição para a sustentabilidade dos ecossistemas, a bioeconomia e o desenvolvimento de sistemas produtivos de baixo carbono.

Palavras-chave: Carbono do solo. Sistema solo-planta. Bioeconomia. Sistemas de baixo carbono. Adaptação climática.

Abstract

Soil is an essential component for regulating the functioning of terrestrial ecosystems and the carbon (C) cycle. The carbon inputs to the soil occur primarily through the deposition of plant biomass, whose production depends on the fixation of atmospheric carbon dioxide through photosynthesis. In this context, understanding soil quality and carbon fluxes within the soil-plant system plays a strategic role

in supporting actions aimed at environmental sustainability and regional bioeconomy. Therefore, this study was conducted to investigate the interactions among soil chemical and physical attributes, carbon dynamics, and ecophysiological responses of plant species, aiming to understand their implications for low-carbon production systems. The aromatic species Lippia origanoides, Lippia hermannioides, Eplingiella fruticosa, and Croton grewioides were evaluated. Soil chemical characterization under the cultivation of these species included the determination of soil pH, available phosphorus (P), exchangeable cations (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+}, Na^{+}, and Al^{3+}), cation exchange capacity (CEC), and soil organic carbon. Soil texture, bulk density, saturated hydraulic conductivity, electrical conductivity, and soil solution pH were also assessed. Plant physiological responses were evaluated through measurements of leaf water potential and chlorophyll a fluorescence. Leaf anatomical and micromorphological analyses were performed using light microscopy and scanning electron microscopy, respectively. Additionally, carbon stocks in the soil, plant biomass, and the overall system were estimated. The results revealed variability in soil chemical attributes among the evaluated systems. Soil carbon stocks ranged from 10.29 to 42.47 t ha^{-1}. The highest total carbon stock was observed in the soil-Lippia origanoides system, reaching 49.22 t ha^{-1}, equivalent to approximately 180.6 t CO_2e ha^{-1}, highlighting the potential of these systems for carbon sequestration and stabilization. The species exhibited leaf water potentials ranging from -0.74 to -1.41 MPa, indicating moderate water deficit conditions compatible with the physiological adaptations typical of plant species from the Brazilian semiarid region. Despite these conditions, chlorophyll fluorescence parameters indicated maintenance of photosynthetic functionality, with Fo values ranging from 4,253 to 5,066, Fm from 11,420 to 13,138, Fv from 6,534 to 8,205, and maximum quantum efficiency of photosystem II (Fv/Fm) ranging from 0.75 to 0.84. Anatomical analyses highlighted the presence of non-glandular trichomes, glandular trichomes, and secretory structures associated with water regulation, leaf protection, and secondary metabolite production. Species belonging to the genera Lippia and Eplingiella exhibited a high density of secretory structures potentially related to essential oil biosynthesis, whereas Croton grewioides was characterized by the predominance of physical protection structures. Therefore, the association

between higher carbon stocks, maintenance of leaf water status, high photosynthetic efficiency, and the presence of adaptive structures suggests that soil quality influences water availability and the ecophysiological performance of the evaluated species, with potential contributions to ecosystem sustainability, bioeconomy development, and low-carbon production systems.

Keywords: Soil carbon; Soil-plant system. Bioeconomy. Low-carbon systems. Climate adaptation.

Nanocatalisadores a partir de resíduos de *Pachira aquatica* aplicados na produção de biodiesel

Nanocatalysts derived from Pachira aquatica waste applied to biodiesel production

Pedro Ramos de Souza Neto
Raquel Azurem Santos Maia e Silva
James Correia de Melo
pedro.souza@cetene.gov.br / james.melo@cetene.gov.br

Resumo

Introdução: A busca por fontes renováveis de energia tem impulsionado o desenvolvimento de alternativas aos combustíveis fósseis. Nesse contexto, o biodiesel destaca-se por sua biodegradabilidade, renovabilidade e potencial de redução das emissões atmosféricas. Entretanto, a utilização de matérias-primas alimentícias pode aumentar os custos de produção e gerar competição com a cadeia alimentar. Assim, o aproveitamento de oleaginosas não convencionais e de seus resíduos surge como alternativa promissora. A Pachira aquatica Aubl. (munguba) apresenta potencial para essa finalidade devido ao seu teor lipídico e à possibilidade de valorização integral da biomassa. Além da extração do óleo para produção de biodiesel, resíduos como folhas, cascas e torta podem ser convertidos em materiais com potencial catalítico, contribuindo para processos mais sustentáveis. Objetivos: Desenvolver e caracterizar nanocatalisadores obtidos a partir de resíduos da munguba para aplicação na produção de biodiesel, bem como avaliar métodos de extração do óleo e estudar a viabilidade de processos intensificados por meio de simulação computacional. Metodologia: Foi realizado levantamento bibliográfico sobre biodiesel, catalisadores heterogêneos e valorização de biomassa. Folhas, torta e cascas de munguba foram coletadas, secas e submetidas à calcinação em diferentes temperaturas. O óleo foi extraído utilizando os métodos Soxhlet e ultrassom. As amostras obtidas foram caracterizadas por FTIR, DRX, BET, MEV, MET e granulometria. Os materiais calcinados foram avaliados como nanocatalisadores em reações de transesterificação para produção de

biodiesel. Paralelamente, foram realizadas simulações computacionais no Aspen Plus v10 para análise de sistemas de destilação reativa. Resultados e Discussão: Os resíduos da munguba apresentaram baixos rendimentos após a calcinação, variando entre 2 e 10%, indicando elevada decomposição da matéria orgânica e concentração da fração mineral. As análises de FTIR e DRX demonstraram predominância de carbonatos nas amostras obtidas a 500 °C e formação de óxidos metálicos, principalmente CaO e MgO, nas amostras calcinadas a 900 °C. As análises morfológicas evidenciaram materiais heterogêneos, aglomerados e com porosidade associada aos processos de decomposição térmica. Na extração do óleo, o melhor resultado foi obtido pela combinação Soxhlet e ultrassom, alcançando rendimento de 35%. Nos ensaios de produção de biodiesel, o catalisador homogêneo NaOH apresentou rendimentos entre 87 e 92%, enquanto os catalisadores derivados da biomassa atingiram valores entre 63 e 79%, demonstrando atividade catalítica satisfatória. As simulações em destilação reativa indicaram conversão de aproximadamente 87,4% e rendimento mássico de biodiesel de 89,8%, evidenciando potencial para intensificação do processo. Conclusão: Os resultados demonstraram a viabilidade do aproveitamento integral da munguba para produção de biodiesel e obtenção de nanocatalisadores. Os materiais calcinados apresentaram atividade catalítica relevante, enquanto as simulações computacionais indicaram elevada eficiência para sistemas de destilação reativa. Dessa forma, a valorização dos resíduos da munguba representa uma alternativa promissora para o desenvolvimento de processos mais sustentáveis e economicamente viáveis na cadeia produtiva do biodiesel.

Palavras-chave: Biodiesel. Valorização de biomassa. Catálise heterogênea

Abstract

Introduction: The search for renewable energy sources has driven the development of alternatives to fossil fuels. In this context, biodiesel stands out due to its biodegradability, renewability, and potential to reduce atmospheric emissions. However, the use of food-based feedstocks may increase production costs and create competition with the food supply chain. Therefore, the exploitation of non-conventional

oilseed crops and their residues has emerged as a promising alternative. Pachira aquatica Aubl. (munguba) presents significant potential for this purpose due to its lipid content and the possibility of fully valorizing its biomass. In addition to oil extraction for biodiesel production, residues such as leaves, husks, and seed cake can be converted into materials with catalytic potential, contributing to more sustainable processes. Objectives: To develop and characterize nanocatalysts obtained from munguba residues for application in biodiesel production, as well as to evaluate oil extraction methods and investigate the feasibility of process intensification through computational simulation. Methodology: A literature review was conducted on biodiesel, heterogeneous catalysts, and biomass valorization. Munguba leaves, seed cake, and husks were collected, dried, and subjected to calcination at different temperatures. Oil extraction was performed using Soxhlet and ultrasound-assisted methods. The obtained samples were characterized by FTIR, XRD, BET, SEM, TEM, and particle size analysis. The calcined materials were evaluated as nanocatalysts in transesterification reactions for biodiesel production. In parallel, computational simulations were carried out using Aspen Plus v10 to analyze reactive distillation systems. Results and Discussion: Munguba residues exhibited low yields after calcination, ranging from 2 to 10%, indicating extensive decomposition of organic matter and concentration of the mineral fraction. FTIR and XRD analyses revealed the predominance of carbonates in samples obtained at 500 °C and the formation of metal oxides, mainly CaO and MgO, in samples calcined at 900 °C. Morphological analyses showed heterogeneous and agglomerated materials with porosity associated with thermal decomposition processes. Regarding oil extraction, the best result was obtained through the combination of Soxhlet extraction and ultrasound-assisted extraction, achieving a yield of 35%. In biodiesel production tests, the homogeneous catalyst NaOH provided yields ranging from 87 to 92%, whereas biomass-derived catalysts achieved yields between 63 and 79%, demonstrating satisfactory catalytic activity. Reactive distillation simulations indicated a conversion of approximately 87.4% and a biodiesel mass yield of 89.8%, highlighting the potential for process intensification. Conclusion: The results demonstrated the feasibility of the complete utilization of munguba biomass for biodiesel production and nano-

catalyst development. The calcined materials exhibited significant catalytic activity, while computational simulations indicated high efficiency for reactive distillation systems. Therefore, the valorization of munguba residues represents a promising alternative for the development of more sustainable and economically viable processes within the biodiesel production chain.

Keywords: Biodiesel. Biomass valorization. Heterogeneous catalysis.

COMPUTAÇÃO APLICADA

Desenvolvimento de plataformas IoT (Internet of Things) com Blockchain aplicada ao Agronegócio

Development of IoT (Internet of Things) platforms with Blockchain applied to Agribusiness

Mozart José Correia Filho
Paulo Roberto Moreira Maciel (Supervisor)
mozart.filho@cetene.gov.br / paulo.maciel@cetene.gov.br

Resumo

Introdução: A crescente demanda por soluções tecnológicas voltadas à agricultura de precisão tem impulsionado o desenvolvimento de plataformas capazes de realizar o monitoramento contínuo de variáveis ambientais e agronômicas, contribuindo para a otimização do uso de recursos naturais e para a tomada de decisão baseada em dados. Nesse contexto, a Internet das Coisas (IoT) tem se destacado pela integração entre sensores, sistemas embarcados e redes de comunicação, possibilitando a coleta e o gerenciamento eficiente de informações em tempo real. Adicionalmente, a incorporação de tecnologias como Blockchain amplia as possibilidades de rastreabilidade e integridade dos dados gerados no ambiente agrícola. Objetivos: O presente trabalho teve como objetivo desenvolver e aprimorar uma plataforma baseada em IoT e Blockchain aplicada ao agronegócio, visando à aquisição, transmissão, armazenamento e rastreabilidade segura de dados provenientes de sensores distribuídos em ambientes agrícolas. Também buscou estruturar a área de prototipação de placas de circuito impresso (PCB) do Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE), fortalecendo as atividades de pesquisa e desenvolvimento em sistemas embarcados. Metodologia: A metodologia adotada envolveu o levantamento dos requisitos do sistema, o desenvolvimento de hardware e firmware embarcado, a elaboração de esquemáticos eletrônicos e layouts de PCBs, bem como a integração de sensores e módulos de comunicação utilizando, principalmente, a plataforma ESP32-S3. Foram desenvolvidos submódulos para aquisição e armazenamento de dados, unidades de controle e monitoramento com suporte ao protocolo RS-485 e in-

terfaces para adaptação de níveis lógicos. Além disso, foram realizados testes funcionais em ambiente controlado e em condições reais de aplicação, incluindo a implantação de protótipos em estufas experimentais e o suporte a experimentos de monitoramento agrícola conduzidos em parceria com outras equipes de pesquisa. Resultados: Os principais resultados obtidos incluem a estruturação da área de prototipação de PCBs do CETENE, o desenvolvimento e integração de redes de sensores para monitoramento de parâmetros ambientais e do solo, a elaboração de esquemáticos e layouts eletrônicos dos submódulos do sistema e o desenvolvimento parcial do firmware embarcado para aquisição e distribuição de dados. Adicionalmente, foram realizados testes experimentais em ambientes reais de cultivo e produzidos documentos técnicos visando subsidiar futuras ações de proteção intelectual e transferência tecnológica. A plataforma desenvolvida também subsidiou atividades complementares relacionadas ao monitoramento do solo e à futura implantação de um projeto piloto de redes de sensores e atuadores para irrigação. Conclusões: Conclui-se que o projeto contribuiu significativamente para o fortalecimento das competências institucionais em Internet das Coisas aplicada ao agronegócio, possibilitando o desenvolvimento de soluções tecnológicas voltadas ao monitoramento agrícola inteligente. Os resultados obtidos evidenciam o potencial da plataforma desenvolvida para aplicações futuras em agricultura de precisão, rastreabilidade de dados e apoio à tomada de decisão baseada em informações confiáveis e seguras, favorecendo a adoção de práticas agrícolas mais eficientes e sustentáveis.

Palavras-chave: Internet das Coisas (IoT). Agricultura de Precisão. Blockchain. Sistemas Embarcados. Monitoramento Agrícola.

Abstract

Introduction: The growing demand for technological solutions aimed at precision agriculture has driven the development of platforms capable of performing continuous monitoring of environmental and agronomic variables, contributing to the optimization of the use of natural resources and data-based decision-making. In this context, the Internet of Things (IoT) has stood out for the integration between

sensors, embedded systems, and communication networks, enabling the efficient collection and management of information in real time. Additionally, the incorporation of technologies such as Blockchain expands the possibilities of traceability and integrity of the data generated in the agricultural environment. Objectives: The present work aimed to develop and improve a platform based on IoT and Blockchain applied to agribusiness, aiming at the acquisition, transmission, storage and secure traceability of data from sensors distributed in agricultural environments. It also sought to structure the printed circuit board (PCB) prototyping area of the Center for Strategic Technologies of the Northeast (CETENE), strengthening research and development activities in embedded systems. Methodology: The methodology adopted involved the survey of the system requirements, the development of embedded hardware and firmware, the elaboration of electronic schematics and PCB layouts, as well as the integration of sensors and communication modules using, mainly, the ESP32-S3 platform. Submodules for data acquisition and storage, control and monitoring units with support for the RS-485 protocol, and interfaces for adapting logical levels were developed. In addition, functional tests were carried out in a controlled environment and under real application conditions, including the implementation of prototypes in experimental greenhouses and the support of agricultural monitoring experiments conducted in partnership with other research teams. Results: The main results obtained include the structuring of the PCB prototyping area of CETENE, the development and integration of sensor networks for monitoring environmental and soil parameters, the elaboration of schematics and electronic layouts of the system's submodules and the partial development of the embedded firmware for data acquisition and distribution. In addition, experimental tests were carried out in real cultivation environments and technical documents were produced in order to support future actions of intellectual protection and technology transfer. The platform developed also subsidized complementary activities related to soil monitoring and the future implementation of a pilot project for sensor and actuator networks for irrigation. Conclusions: It is concluded that the project contributed significantly to the strengthening of institutional competencies in Internet of Things applied to agribusiness, enabling the

development of technological solutions aimed at smart agricultural monitoring. The results obtained show the potential of the platform developed for future applications in precision agriculture, data traceability and support for decision-making based on reliable and safe information, favoring the adoption of more efficient and sustainable agricultural practices.

Keywords: Internet of Things (IoT). Precision Agriculture. Blockchain. Embedded Systems. Agricultural Monitoring.

GESTÃO DA QUALIDADE E DA INOVAÇÃO

Implementação do SGQ em conformidade com a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017

QMS Implementation in Compliance with ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017

Claudia da Costa Lima Neves
Luciana Elizabeth da Mota Távora (Supervisora)
claudia.neves@cetene.gov.br / luciana.tavora@cetene.gov.br

Resumo

Um Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) baseado na NBR ISO/IEC 17025 é uma ferramenta estratégica para assegurar a validade, a confiabilidade e a rastreabilidade dos resultados gerados em laboratórios de ensaio e calibração. Esse padrão de excelência atende tanto às exigências do mercado em relação à qualidade de serviços técnicos especializados quanto ao rigor científico em atividades de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PDI). A implantação do SGQ no CETENE teve início com o apoio do Programa MODERNIT promovido pelo MCTI, por intermédio da FINEP. O projeto (2015-2018) viabilizou a implantação do SGQ no Laboratório de Nanotecnologia, em apoio tanto às pesquisas internas quanto aos serviços técnicos especializados prestados. Dando continuidade a esses esforços, o Plano Diretor do CETENE (2022-2030) integrou o projeto Gestão de Processos e Qualidade com os objetivos de promover o aperfeiçoamento dos serviços técnicos especializados e das atividades de PDI, implementar o SGQ conforme os requisitos da NBR ISO/IEC 17025:2017 e obter a acreditação junto ao INMETRO.Nesse contexto, o projeto Sistema Institucional de Gestão da Qua lidade: Implantação, Monitoramento e Melhorias do Programa de Capacitação Institucional (PCI) reflete o compromisso do CETENE em promover a qualidade das informações científicas e técnicas transferidas para a sociedade e dos serviços técnicos especializados. Objetivos: 1) Alinhar os processos operacionais e de gestão dos laboratórios de Prestação de Serviços Técnicos Especializados aos requisitos da NBR ISO/IEC 17025:2017; 2) Fortalecer a operação consistente dos laboratórios; 3) Assegurar a validade dos resultados gerados. A metodologia

adotada baseia-se no ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act), ferramenta estruturada que impulsiona a melhoria contínua do SGQ. No período de execução, as etapas sequenciais e interligadas foram: diagnóstico e mapeamento dos processos atuais, planejamento com reuniões semanais e execução das ações planejadas. Entre os resultados significativos obtidos, destacam-se: 1.Definição da estrutura de gestão dos laboratórios e da nova arquitetura documental; 2.Padronização e modelos simplificados de documentos; 3. Elaboração de procedimentos em atendimento à conformidade normativa; 4. Implantação de rotinas voltadas à satisfação dos usuários e clientes; 5. Integração de procedimentos técnicos associados aos métodos de ensaios; 6. Aprimoramentos de processos internos com foco na melhoria contínua; 7.Otimização de fluxos na Plataforma CETENE de Serviços Multiusuários, desde a recepção das amostras até a emissão dos resultados finais e 8. Desenvolvimento de site para compartilhamento dos documentos, assegurando o acesso rápido às versões vigentes a todo pessoal envolvido. Os resultados obtidos no ciclo de 2025-2026 evidenciam a adequação do SGQ e o fortalecimento operacional dos laboratórios frente aos requisitos da NBR ISO/IEC 17025:2017. Esse avanço é demonstrado pela definição de uma nova estrutura de gestão e arquitetura documental, aliadas à racionalização dos documentos e à conformidade normativa dos processos laboratoriais. O foco na satisfação dos clientes, somado ao aprimoramento de fluxos e rotinas, ratifica o amadurecimento da cultura de melhoria continua. Com essas entregas, o projeto cumpre seus objetivos específicos, validando sua inserção no Programa PCI como motor indutor do desenvolvimento técnico-científico do CETENE.

Palavras-chave: Gestão da Qualidade. ISO/IEC 17025:2017. Melhoria Contínua. CETENE

Abstract

This study addresses the implementation, monitoring, and continuous improvement of the Institutional Quality Management System (QMS) at CETENE, supported by the Institutional Training Program (PCI). The primary objective was to align laboratory operational and management processes with ISO/IEC

17025:2017 requirements, thereby strengthening operations and ensuring the the validity, reliability, and traceability of laboratory results. Grounded in the PDCA (Plan-Do-Check-Act) cycle, the methodology encompassed process mapping, planning, and action execution. Key results achieved during the 2025-2026 cycle include the definition of a new document management structure and architecture, document standardization, and workflow optimization on the CETENE Multi-User Services Platform. Furthermore, a dedicated website was developed to provide rapid access to current document versions. These outcomes demonstrate both the strengthening of laboratory operations and a maturing culture of continuous improvement, fulfilling the project's objectives and confirming its role for CETENE's technical and scientific development.

Keywords: Quality Management. ISO/IEC 17025:2017. Continuous Improvement. CETENE

Governança da inovação no CETENE: instrumentos, processos e metodologias para a consolidação do NIT

Innovation Governance at CETENE: Instruments, Processes, and Methodologies for Strengthening the Technology Innovation Center

Isabela Moroni
Luciana Távora (Supervisora)
isabela.moroni@cetene.gov.br / luciana.tavora@cetene.gov.br

Resumo

A consolidação da política institucional de inovação em Instituições Científicas, Tecnológicas e de Inovação (ICTs) públicas requer a transformação de diretrizes normativas e estratégicas em instrumentos aplicáveis à rotina organizacional. Nesse contexto, o projeto foi desenvolvido no âmbito do Programa de Capacitação Institucional (PCI/CNPq) do Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (CETENE/MCTI), entre outubro de 2025 e abril de 2026, como apoio à implantação e à consolidação do Núcleo de Inovação Tecnológica (NIT/CETENE). A atuação concentrou-se em três frentes integradas: governança da inovação, estruturação da IncubaScience e organização do Escritório de Projetos. O trabalho teve como objetivo contribuir para o fortalecimento da governança da inovação no CETENE por meio do desenvolvimento de processos, instrumentos e metodologias capazes de ampliar a padronização, a rastreabilidade, a transparência e o suporte à tomada de decisão institucional. Especificamente, buscou-se apoiar a organização dos processos da IncubaScience, estruturar mecanismos de acompanhamento de startups deep techs e sistematizar fluxos relacionados à submissão, à aprovação e ao monitoramento de projetos institucionais no Escritório de Projetos. A abordagem adotada foi qualitativa, aplicada e orientada à melhoria de processos. Foram realizadas análise documental de normas, portarias e documentos institucionais; levantamento de práticas internas; reuniões com atores envolvidos na gestão da inovação; análise de referências externas,

e sistematização de fluxos, responsabilidades e evidências. A estruturação da IncubaScience considerou práticas do modelo CERNE, modelo de gestão utilizado pela ANPROTEC, enquanto a organização dos processos institucionais foi orientada por princípios de governança da inovação e pela família de normas ISO 56000. Também foi desenvolvida uma metodologia própria para diagnóstico e acompanhamento de startups deep techs, operacionalizada por instrumentos de coleta e análise de dados. Principais resultados: Entre os resultados obtidos, destacam-se: a sistematização de processos de incubação; a elaboração de instrumentos para acompanhamento das empresas incubadas; o apoio à consolidação do Manual de Operações da IncubaScience; e o desenvolvimento de uma metodologia de avaliação baseada em eixos e níveis de maturidade. A metodologia foi aplicada a dez startups, gerando avaliações globais e por cada um dos seis eixos avaliados, o que resultou em diagnósticos individualizados, planos de ação e direcionamentos estratégicos. No âmbito do Escritório de Projetos, foram realizados; o levantamento do funcionamento atual dos projetos, a identificação dos atores envolvidos, o desenvolvimento de um protótipo funcional de repositório documental e portfólio institucional e a proposição de um novo fluxo de aprovação e acompanhamento de projetos. Os resultados demonstram que a consolidação de um modelo de governança e de gestão da inovação depende da articulação entre normas, processos, instrumentos e evidências. O trabalho contribuiu para converter diretrizes institucionais em mecanismos operacionais, fortalecendo a integração entre NIT, IncubaScience e Escritório de Projetos. As entregas também constituem uma base inicial para a produção sistemática de dados e inteligência sobre startups deep techs, com potencial de apoiar decisões institucionais e políticas públicas de ciência, tecnologia e inovação no Nordeste.

Palavras-chave: Governança da inovação; Núcleo de Inovação Tecnológica; Deep techs; Incubação de empresas; Gestão de projetos

Abstract

Introduction: Consolidating institutional innovation policies in public Scientific, Technological, and Innovation Institutions requires transforming regulatory and

strategic guidelines into instruments applicable to organizational routines. In this context, the project was developed within the Institutional Capacity-Building Program (PCI/CNPq) at the Center for Strategic Technologies of the Northeast (CETENE/MCTI), from October 2025 to April 2026, to support the implementation and strengthening of CETENE's Technology Innovation Center. The activities focused on three integrated fronts: innovation governance, the structuring of IncubaScience, and the organization of the Project Management Office.
Objectives: The project aimed to strengthen innovation governance at CETENE by developing processes, instruments, and methodologies capable of improving standardization, traceability, transparency, and evidence-based institutional decision-making. Specifically, it sought to support the organization of IncubaScience processes, establish mechanisms for monitoring deep tech startups, and systematize workflows related to the submission, approval, and monitoring of institutional projects. Methodology: A qualitative, applied, and process-improvement-oriented approach was adopted. The activities included the analysis of regulations, institutional documents, and internal procedures; meetings with stakeholders involved in innovation management; examination of external references; and the systematization of workflows, responsibilities, and evidence records. The structuring of IncubaScience considered practices derived from the CERNE model, while the organization of institutional processes was guided by innovation governance principles and the ISO 56000 family of standards. A specific methodology for diagnosing and monitoring deep tech startups was also developed and operationalized through data collection and analytical instruments. Main results: The main results included the systematization of incubation processes; the development of instruments for monitoring incubated companies; support for consolidating the IncubaScience Operations Manual; and the design of an assessment methodology based on maturity dimensions and levels. The methodology was applied to ten startups, generating overall and dimension-specific assessments (Technology, Market/Commercial, Capital, Legal, Team/Entrepreneurs, Management), individualized diagnoses, action plans, and strategic recommendations. Regarding the Project Management Office, the activities

included mapping existing project procedures, identifying the stakeholders involved, developing a functional prototype for a document repository and institutional project portfolio, and proposing a new workflow for project approval and monitoring. Conclusions: The results demonstrate that strengthening innovation governance depends on the integration of regulations, processes, instruments, and evidence. The project contributed to converting institutional guidelines into operational mechanisms, reinforcing the connections among the Technology Innovation Center, IncubaScience, and the Project Management Office. The outputs also provide an initial foundation for the systematic production of data and intelligence on deep tech startups, with the potential to support institutional decisions and public policies for science, technology, and innovation in Northeastern Brazil.

Keywords: Innovation governance; Technology Innovation Center; Deep tech startups; Business incubation; Project management

NANOTECNOLOGIA

Obtenção de Fotocátodos à Base de Co3O4 para Geração de Hidrogênio Verde por Fotoeletrocatálise

Preparation of Co3O4-Based Photocathodes for Green Hydrogen Production via Photoelectrocatalysis

Annaíres de Almeida Lourenço
Giovanna Machado (Supervisora)
annaires.lourenco@cetene.gov.br / giovanna.machado@cetene.gov.br

Resumo:
O crescimento populacional e o consequente aumento da demanda energética mundial têm intensificado a utilização de combustíveis fósseis, principal fonte de energia empregada atualmente. Entretanto, o uso excessivo desses recursos contribui significativamente para problemas ambientais, tornando necessária a busca por fontes energéticas renováveis e sustentáveis. Nesse contexto, o hidrogênio verde (H2V), produzido a partir da eletrólise da água, destaca-se como uma alternativa promissora por não gerar emissões de carbono durante sua obtenção. A utilização de processos fotoeletrocatalíticos para promover a eletrólise da água possibilita o aproveitamento da energia solar para impulsionar as semirreações envolvidas, reduzindo o consumo energético do processo. Para viabilizar essa tecnologia, é necessário o desenvolvimento de materiais semicondutores eficientes e de baixo custo, uma vez que muitos dos catalisadores mais eficientes descritos na literatura são constituídos por metais nobres, cuja disponibilidade é limitada e de custo elevado. Dessa forma, este trabalho propõe a síntese e aplicação de filmes finos de óxido de cobalto (Co3O4) suportados em FTO como fotocátodos para a produção de H2V. Os filmes foram obtidos por síntese hidrotermal e por eletrodeposição, e em seguida foram submetidos a tratamento térmico. Foram variadas as concentrações dos reagentes, tempo de reação e temperatura de calcinação. A investigação desses parâmetros teve como objetivo determinar as condições mais adequadas para obtenção de eletrodos com melhor desempenho fotoeletrocatalítico. Os difratogramas de raios X confirmaram a formação da fase Co3O4 em todas as condições de síntese avaliadas. A partir das

medidas de reflectância difusa e do método de Tauc, foram determinados dois valores de energia de bandgap, aproximadamente em 1,55 e 2,05 eV, compatíveis com os valores reportados para esse material e favoráveis à promoção das reações envolvidas na eletrólise da água. Os ensaios fotoeletrocatalíticos foram realizados em uma célula com três eletrodos, utilizando Ag/AgCl como eletrodo de referência, fio de platina como contraeletrodo e os filmes produzidos como eletrodos de trabalho. Foram avaliados diferentes eletrólitos: Na2SO4 (0,5M) com pH=7, Na2SO4 (0,3M) + trietanolamina (10% v/v) com pH=11 e NaOH (0,5M) com pH=13. As curvas de corrente em função do potencial evidenciaram a presença de corrente no escuro em todas as condições estudadas, indicando comportamento capacitivo do material. De modo geral, os melhores resultados foram obtidos para os filmes preparados por eletrodeposição e calcinados na maior temperatura, especialmente quando empregados os eletrólitos NaOH e Na2SO4. Esses resultados demonstram o potencial do Co3O4 como fotocátodo para a produção de hidrogênio verde e indicam perspectivas envolvendo estratégias de modificação do material, como dopagem e formação de heterojunções, visando aprimorar sua eficiência e estabilidade fotoeletrocatalítica.

Palavras-chaves: Fotoeletrocatálise. H2. Fotocátodo.

Abstract:
Population growth and the consequent increase in global energy demand have intensified the use of fossil fuels, which currently represent the primary source of energy worldwide. However, the excessive consumption of these resources significantly contributes to environmental problems, making the search for renewable and sustainable energy sources increasingly necessary. In this context, green hydrogen (GH2), produced through water electrolysis, has emerged as a promising alternative because it does not generate carbon emissions during its production. The use of photoelectrocatalytic processes for water electrolysis enables the utilization of solar energy to drive the involved half-reactions, thereby reducing the overall energy consumption of the process. To make this technology feasible, the development of efficient and low-cost semiconductor materials is required,

since many of the most effective catalysts reported in the literature are based on noble metals, which are scarce and expensive. Therefore, this work proposes the synthesis and application of cobalt oxide (Co3O4) thin films supported on fluorine-doped tin oxide (FTO) as photocathodes for green hydrogen production. The films were prepared by hydrothermal synthesis and electrodeposition, followed by thermal treatment. Reagent concentrations, reaction time, and calcination temperature were systematically varied. The investigation of these parameters aimed to determine the most suitable conditions for obtaining electrodes with improved photoelectrocatalytic performance. X-ray diffraction patterns confirmed the formation of the Co3O4 phase under all synthesis conditions evaluated. Diffuse reflectance measurements combined with the Tauc method revealed two bandgap energy values, approximately 1.55 and 2.05 eV, consistent with those reported in the literature and favorable for promoting the reactions involved in water electrolysis. Photoelectrocatalytic tests were performed in a three-electrode cell using Ag/AgCl as the reference electrode, a platinum wire as the counter electrode, and the synthesized films as working electrodes. Different electrolytes were evaluated: 0.5 M Na2SO4 (pH 7), 0.3 M Na2SO4 containing 10% (v/v) triethanolamine (pH 11), and 0.5 M NaOH (pH 13). Current-potential curves showed the presence of dark current under all conditions studied, indicating the capacitive behavior of the material. In general, the best results were obtained for films prepared by electrodeposition and calcined at the highest temperature, particularly when NaOH and Na2SO4 electrolytes were employed. These findings demonstrate the potential of Co3O4 as a photocathode for green hydrogen production and highlight future perspectives involving material modification strategies, such as doping and heterojunction formation, to further improve its photoelectrocatalytic efficiency and stability.

Keywords: Photoelectrocatalysis. H2. Photocathode.

Aproveitamento de Lodo de Lavanderias para Produção de Nanomateriais Sustentáveis com Potencial Aplicação em Fotocatálise e Nanofertilizantes

Valorization of Textile Laundry Sludge for the Production of Sustainable Nanomaterials with Potential Applications in Photocatalysis and Nanofertilizers

Aquiles Silva do Nascimento
Yolice Patricia Moreno Ruiz
aquiles.nascimento@cetene.gov.br / yolice.ruiz@cetene.gov.br

Resumo (PT):

O descarte de lodos provenientes de lavanderias industriais representa um desafio ambiental crescente devido ao elevado volume gerado e à presença de matéria orgânica, corantes e outros contaminantes associados aos processos têxteis. Nesse contexto, estratégias de valorização de resíduos alinhadas aos princípios da economia circular têm despertado interesse para a conversão desses materiais em produtos de maior valor agregado, contribuindo para a redução dos impactos ambientais e para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o potencial de aproveitamento de lodo têxtil como precursor para obtenção de nanomateriais fluorescentes por síntese hidrotermal, visando futuras aplicações em processos fotocatalíticos e no desenvolvimento de nanofertilizantes sustentáveis. O lodo têxtil foi inicialmente seco, macerado e peneirado, sendo posteriormente caracterizado por Difração de Raios X (DRX), Espectroscopia no Infravermelho por Transformada de Fourier (FTIR), Análises Termogravimétricas (TG/DTG/DSC), Adsorção de Nitrogênio (BET) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV). Em seguida, foram realizadas sínteses hidrotermais utilizando diferentes combinações de precursores, incluindo lodo têxtil, ureia e ácido cítrico. Os sobrenadantes obtidos foram avaliados por espectroscopia UV-Vis, fotoluminescência (PL), espalhamento dinâmico de luz (DLS), potencial Zeta, microscopia eletrônica de transmissão (MET) e espectros-

copia Raman. Os rendimentos quânticos foram determinados utilizando sulfato de quinina como padrão de referência. As caracterizações do lodo indicaram um material predominantemente amorfo, de natureza carbonácea e composição heterogênea, contendo elementos como silício, alumínio e ferro, em concordância com resultados reportados na literatura para resíduos têxteis industriais. As análises ópticas dos sobrenadantes revelaram emissão de fluorescência em aproximadamente 430 nm, característica de nanopartículas de carbono fluorescentes. As imagens obtidas por MET evidenciaram partículas com dimensões entre 7 e 50 nm, incluindo estruturas compatíveis com carbon dots na faixa de 1 a 10 nm. Os experimentos iniciais apresentaram rendimentos quânticos entre 2,7% e 5,2%. Após modificações na rota sintética, incluindo redução da concentração dos reagentes e incorporação de ácido cítrico, observou-se aumento significativo do rendimento quântico para aproximadamente 10%. As análises de DLS e potencial Zeta demonstraram influência das condições de síntese e do pH sobre a estabilidade coloidal, permitindo a obtenção de sistemas com potencial Zeta superior a |-30 mV| e raio hidrodinâmico médio em torno de 170 nm. Os resultados demonstram a viabilidade técnica da conversão de lodo têxtil em nanomateriais fluorescentes por rota hidrotermal, evidenciando o potencial desse resíduo como matéria-prima para aplicações de maior valor agregado. O trabalho contribui para os princípios da sustentabilidade e da economia circular, ao promover a valorização de resíduos industriais e indicar perspectivas promissoras para aplicações futuras em fotocatálise ambiental e agricultura sustentável.

Palavras-chaves: Lodo têxtil. Nanomateriais fluorescentes. Pontos de carbono. Economia circular. Síntese hidrotermal.

Abstract:
The disposal of sludge generated by industrial laundries represents an increasing environmental challenge due to the large volume produced and the presence of organic matter, dyes, and other contaminants associated with textile processes. In this context, waste valorization strategies aligned with circular economy principles have attracted growing attention as alternatives for converting these residues

into higher-value products while reducing environmental impacts and promoting sustainable technological development. The objective of this study was to evaluate the potential use of textile sludge as a precursor for the production of fluorescent nanomaterials through hydrothermal synthesis, aiming at future applications in photocatalytic processes and sustainable nanofertilizers. Textile sludge was dried, ground, and sieved prior to characterization by X-ray Diffraction (XRD), Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR), Thermogravimetric Analysis (TG/DTG/DSC), Nitrogen Adsorption (BET), and Scanning Electron Microscopy (SEM). Hydrothermal syntheses were subsequently carried out using different precursor combinations, including textile sludge, urea, and citric acid. The resulting supernatants were characterized by UV-Vis spectroscopy, photoluminescence (PL), dynamic light scattering (DLS), zeta potential measurements, transmission electron microscopy (TEM), and Raman spectroscopy. Quantum yields were determined using quinine sulfate as a reference standard. The characterization of the textile sludge revealed a predominantly amorphous material with carbonaceous nature and heterogeneous composition, containing elements such as silicon, aluminum, and iron, in agreement with reports available in the literature for industrial textile residues. Optical analyses indicated fluorescence emission around 430 nm, a characteristic feature of fluorescent carbon-based nanoparticles. TEM images revealed particles ranging from 7 to 50 nm, including structures compatible with carbon dots within the 1-10 nm size range. Initial synthesis experiments presented quantum yields between 2.7% and 5.2%. Modifications in the synthetic route, including reagent concentration reduction and citric acid incorporation, promoted a significant increase in quantum yield to approximately 10%. DLS and zeta potential analyses demonstrated the influence of synthesis conditions and pH on colloidal stability, resulting in systems with zeta potentials higher than |-30 mV| and average hydrodynamic radii of approximately 170 nm. The results also suggest that the combination of textile sludge and nitrogen-containing precursors favors surface functionalization and enhances the optical properties of the synthesized nanomaterials. The results demonstrate the technical feasibility of converting textile sludge into fluorescent nanomaterials through a hydrothermal route, highlighting

the potential of this residue as a sustainable raw material for value-added applications. This study contributes to circular economy and sustainability principles by promoting industrial waste valorization and providing promising perspectives for future applications in environmental photocatalysis and sustainable agriculture.

Keywords: Textile sludge. Fluorescent nanomaterials. Carbon dots. Circular economy. Hydrothermal synthesis.

Células solares tandem de camadas inorgânicas à base de perovsitas CsPbI3 e CsPbBr3

Tandem solar cells with inorganic layers based on CsPbI3 and CsPbBr3 perovskites

Janilson Alves Ferreira
Giovanna Machado (Supervisora)
janilson.ferreira@cetene.gov.br / giovanna.machado@cetene.gov.br

Resumo

Células solares tandem surgem uma alternativa capaz de promover o aumento da eficiência de conversão fotovoltaica através da combinação de materiais com diferentes faixas de absorção da radiação solar (KARADE et al, 2025). As perovskitas inorgânicas à base de césio têm despertado interesse devido à sua estabilidade térmica e potencial aplicação em dispositivos fotovoltaicos da terceira geração (ALQAHTANI et al, 2025). Este trabalho investigou a obtenção e caracterização de uma célula solar tandem composta por camadas de CsPbBr3 e CsPbI3, associadas a uma camada intermediária de óxido de níquel (NiO). O projeto teve como principal objetivo desenvolver e caracterizar células solares tandem de perovskitas totalmente inorgânicas, avaliando a influência dos métodos de deposição, da camada intermediária de recombinação e das propriedades estruturais e ópticas dos materiais empregados. Também buscou-se analisar a viabilidade da arquitetura proposta para aplicações fotovoltaicas. O processo metodológico consistiu em sintetizar e depositar as camadas absorvedoras de perovskita por diferentes técnicas de deposição. Em seguida, a camada intermediária de NiO foi preparada e caracterizada quanto à sua estabilidade e propriedades estruturais. As amostras produzidas foram submetidas a análises microestruturais, ópticas e elétricas para verificação da formação das fases cristalinas, morfologia dos filmes e comportamento fotovoltaico. Posteriormente, as camadas foram integradas na configuração tandem e avaliadas quanto ao seu desempenho. Os resultados apontaram para uma obtenção bem-sucedida das camadas de perovskita e da camada intermediária de NiO, com características compatíveis para aplicação em

dispositivos fotovoltaicos. As análises estruturais confirmaram a formação das fases cristalinas desejadas, enquanto as avaliações ópticas demonstraram comportamento adequado para absorção em diferentes regiões do espectro solar. A arquitetura tandem apresentou resposta fotovoltaica mensurável, evidenciando a funcionalidade da configuração proposta e o potencial da estratégia adotada. Conclui-se que a combinação de perovskitas inorgânicas e óxido de níquel constitui uma abordagem viável para o desenvolvimento de células solares tandem. Os resultados obtidos demonstram a possibilidade de integração das camadas em um único dispositivo e indicam perspectivas para futuras otimizações voltadas ao aumento da eficiência e estabilidade operacional. Dessa forma, o trabalho contribui para o avanço das pesquisas em sistemas fotovoltaicos de nova geração e para a consolidação de rotas de fabricação baseadas em materiais inorgânicos.

Palavras-chave: Energia solar; Energias renováveis; Células solares; Fotoconversão

Abstract

Tandem solar cells have emerged as a promising alternative for increasing photovoltaic conversion efficiency through the combination of materials with different solar radiation absorption ranges (KARADE et al., 2025). Cesium-based inorganic perovskites have attracted significant attention due to their thermal stability and potential application in third-generation photovoltaic devices (ALQAHTANI et al., 2025). This study investigated the fabrication and characterization of a tandem solar cell composed of CsPbBr3 and CsPbI3 layers, combined with an intermediate nickel oxide (NiO) layer. The main objective of this project was to develop and characterize fully inorganic perovskite tandem solar cells, evaluating the influence of deposition methods, the intermediate recombination layer, and the structural and optical properties of the materials employed. In addition, the feasibility of the proposed architecture for photovoltaic applications was assessed. The methodological approach consisted of synthesizing and depositing the perovskite absorber layers using different deposition techniques. Subsequently, the NiO intermediate layer was prepared and characterized in terms of its stability and structural properties. The produced samples were subjected to microstruc-

tural, optical, and electrical analyses to verify crystalline phase formation, film morphology, and photovoltaic behavior. The layers were then integrated into a tandem configuration and evaluated regarding their performance. The results indicated the successful fabrication of both the perovskite layers and the NiO intermediate layer, exhibiting characteristics suitable for photovoltaic device applications. Structural analyses confirmed the formation of the desired crystalline phases, while optical evaluations demonstrated appropriate behavior for light absorption across different regions of the solar spectrum. The tandem architecture exhibited a measurable photovoltaic response, confirming the functionality of the proposed configuration and highlighting the potential of the adopted strategy. It can be concluded that the combination of inorganic perovskites and nickel oxide represents a viable approach for the development of tandem solar cells. The obtained results demonstrate the possibility of integrating these layers into a single device and indicate prospects for future optimizations aimed at improving efficiency and operational stability. Therefore, this work contributes to the advancement of research on next-generation photovoltaic systems and to the consolidation of fabrication routes based on inorganic materials.

Keywords: Solar energy; Renewable energies; Solar cells; Photoconversion

Biotecnologia
Computação Aplicada
Nanotecnologia



MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO

