

**HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT:
REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA (PIBIC)
Ciências agrárias e ambientais
Volume 3**

**THIAGO NILTON ALVES PEREIRA
RUHENA KELBER ABRÃO
JOSÉ DE OLIVEIRA MELO NETO
VÂNIA DE PAULA NEVES
LÚCIA MORAES E SILVA
ANA JÚLIA CAMPOS VIEIRA
(ORG)**

**HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT:
REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO
CIENTÍFICA (PIBIC)
Ciências agrárias e ambientais
Volume 3**

**THIAGO NILTON ALVES PEREIRA
RUHENA KELBER ABRÃO
JOSÉ DE OLIVEIRA MELO NETO
VÂNIA DE PAULA NEVES
LÚCIA MORAES E SILVA
ANA JÚLIA CAMPOS VIEIRA
(ORG)**

THIAGO NILTON ALVES PEREIRA
RUHENA KELBER ABRÃO
JOSÉ DE OLIVEIRA MELO NETO
VÂNIA DE PAULA NEVES
LÚCIA MORAES E SILVA
ANA JÚLIA CAMPOS VIEIRA

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
VOLUME 3

THIAGO NILTON ALVES PEREIRA
RUHENA KELBER ABRÃO
JOSÉ DE OLIVEIRA MELO NETO
VÂNIA DE PAULA NEVES
LÚCIA MORAES E SILVA
ANA JÚLIA CAMPOS VIEIRA

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

1ª Edição
Volume 3
PALMAS
2025

Universidade Federal do Tocantins
Editora da Universidade Federal do Tocantins - EDUFT

Reitor
Luís Eduardo Bovolato

Vice-reitora
Marcelo Leineker Costa

Pró-Reitor de Administração e
Finanças (PROAD)
Carlos Alberto Moreira de Araújo

Pró-Reitor de Avaliação e
Planejamento
(PROAP)
Eduardo Andrea Lemus Erasmo

Pró-Reitor de Assuntos Estudantis
(PROEST)
Kherlley Caxias Batista Barbosa

Pró-Reitora de Extensão, Cultura e
Assuntos Comunitários (PROEX)
Maria Santana Ferreira dos Santos

Pró-Reitora de Gestão e
Desenvolvimento de Pessoas
(PROGEDEP)
Michelle Matilde Semiguen Lima
Trombini Duarte

Pró-Reitor de Graduação (PROGRAD)
Eduardo José Cezari

Pró-Reitor de Pesquisa e
Pós-Graduação (PROPESQ)
Karylleila dos Santos Andrade

Pró-Reitor de Tecnologia e
Comunicação (PROTIC)
Werley Teixeira Reinaldo

Conselho Editorial
Presidente

Ruhena Kelber Abrão Ferreira

Membros do Conselho por Área

Ciências Biológicas e da Saúde
Ruhena Kelber Abrão Ferreira

Ciências Humanas, Letras e Artes
Fernando José Ludwig

Ciências Sociais Aplicadas
Ingrid Pereira de Assis

Interdisciplinar
Wilson Rogério dos Santos

O padrão ortográfico e o sistema de citações e referências bibliográficas são prerrogativas de cada autor. Da mesma forma, o conteúdo de cada capítulo é de inteira e exclusiva responsabilidade de seu respectivo autor.



<http://www.abecbrasil.org.br>



<http://www.abeu.org.br>

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Capa: Ruhena Kelber Abrão

Diagramação: Ana Luiza Lopes Costa

Revisão Linguística: os autores

Revisão Técnica: Diego Ebling do Nascimento

DOI 10.20873//_eduft_2025_15

Ficha catalográfica

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins (SISBIB)

I58 Horizontes Científicos da UFT: Reflexões do XX Seminário de Iniciação Científica (PIBIC) - Ciências Agrárias e Ambientais (volume 3). / Thiago Nilton Alves Pereira. Ruhena Kelber Abrão. José de Oliveira Melo Neto. Vânia de Paula Neves. Lúcia Moraes e Silva. Ana Júlia Campos Vieira – Palmas, TO: EdUFT, 2025.
349p.

ISBN: 978-65-5390-157-5.

1. Iniciação Científica. 2. PIBIC. 3. Universidade. 4. Ciência. 5. Educação. I. Pereira, Thiago Nilton Alves. II Abrão, Ruhena Kelber. III Neto, José de Oliveira Melo. IV Neves, Vânia de Paula Neves. V. Silva, Lúcia Moraes. IV. Vieira, Ana Júlia Campos. Título.

CDD 371.3

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte

Apresentação

É com imenso entusiasmo que apresentamos esta coletânea comemorativa, criada para celebrar as duas décadas de história, impacto e realizações do Programa Institucional de Iniciação Científica (PIBIC) da Universidade Federal do Tocantins (UFT). Estes livros simbolizam muito mais do que uma simples marca temporal; eles representam a consolidação de uma trajetória dedicada ao fortalecimento da pesquisa científica, da formação de talentos e do compromisso inabalável da UFT com a excelência acadêmica e a transformação social por meio do conhecimento.

Desde sua criação, o PIBIC vem desempenhando um papel central no estímulo à pesquisa científica e na formação de novas gerações de pesquisadores em diferentes áreas do conhecimento. Ao longo desses 20 anos, o Programa proporcionou a centenas de estudantes a oportunidade de vivenciar de perto a ciência em sua essência, despertando a curiosidade investigativa, incentivando o pensamento crítico e promovendo o desenvolvimento de competências e habilidades profícuas ao enfrentamento dos desafios acadêmicos e profissionais.

As contribuições do PIBIC para a sociedade vão além das publicações científicas, dos projetos inovadores e das apresentações em eventos acadêmicos. Elas se traduzem em impactos reais na qualidade de vida da população, no fortalecimento das políticas públicas e no desenvolvimento sustentável da região, principalmente em um território como o estado do Tocantins. Por meio de suas pesquisas, os estudantes e orientadores associados ao Programa não apenas geraram conhecimento, mas também construíram elos entre a Universidade e a Sociedade, reafirmando o papel indubitável da ciência como vetor de transformação.

Esta coletânea de livros, é, portanto, uma homenagem a todos aqueles que contribuíram para a construção dessa história de sucesso na Universidade Federal do Tocantins: os professores

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

orientadores, que, com dedicação e expertise, guiaram jovens pesquisadores em seus primeiros passos no universo científico; os estudantes, que, movidos pela curiosidade e determinação, desafiaram os limites do conhecimento; os gestores, que acreditaram na relevância do programa e garantiram seu fortalecimento ao longo dessas duas décadas; e as instituições parceiras, cujo apoio sempre foram fundamentais para a concretização de inúmeras iniciativas.

Ademais, o registro de momentos marcantes, os desafios superados e as conquistas alcançadas, esta obra pretende ser uma fonte de inspiração para as gerações futuras. O PIBIC/UFT não é apenas um Programa Acadêmico; é uma demonstração viva de como a ciência pode mudar vidas e transformar realidades.

Assim, reafirmamos nosso compromisso com a continuidade desse legado e com a ampliação das oportunidades de formação científica para os jovens pesquisadores. Esperamos que as histórias contadas e os resultados registrados sirvam como um convite para a reflexão e o engajamento, mostrando que investir em ciência e educação é, sem dúvidas, investir em um futuro mais justo, sustentável e próspero para todos.

Parabenizamos a Universidade Federal do Tocantins, o Programa Institucional de Iniciação Científica e todas (os) os envolvidos ao longo desses 20 anos. Que esta obra celebre as conquistas do passado, inspire as ações do presente e oriente as ações futuras. Viva a ciência, viva o conhecimento, viva o PIBIC/UFT!

Prof. Dr. Thiago Nilton Alves Pereira

Prof. Dr. José de Oliveira Melo Neto

Prefácio

É com grande honra e emoção que escrevo este prefácio, celebrando os 20 anos do programa de bolsas de iniciação científica em Ciências Agrárias da Universidade Federal do Tocantins (UFT). Mais do que um marco histórico, esta coletânea reflete um compromisso inabalável com a formação acadêmica, a inovação científica e o desenvolvimento regional.

Minha conexão com a iniciação científica está intrinsecamente relacionada com o surgimento dos programas PIBIC no Brasil. Eu faço parte de uma geração de estudantes que cresceram e desenvolveram-se em sintonia com a ocorrência dessas possibilidades científicas nas instituições federais de ensino superior. Durante quase toda a minha graduação em Agronomia, desde 1998 até 2002, na Universidade Federal de Viçosa (UFV), fui bolsista de iniciação científica. Essa experiência não apenas moldou minha visão da ciência, mas também abriu portas que definiram minha trajetória profissional. Hoje, como professor e orientador de diversos bolsistas nas áreas de Ciências Agrárias e Biológicas, tenho o privilégio de testemunhar diariamente o impacto transformador dessa oportunidade na vida de jovens estudantes. Minha relação com a UFT também é especial. Como visitante frequente, especialmente do campus de Gurupi, onde disponho de colegas professores que foram meus mentores de iniciação científica e parceiros acadêmicos, acompanho de perto o trabalho dedicado que tem sido realizado ao longo desses anos. Vejo com admiração a maneira como o programa de iniciação científica da UFT tem contribuído não apenas para a formação de profissionais altamente capacitados, mas também para o fortalecimento da ciência em uma região de importância estratégica para o cenário agrário brasileiro.

Assim como aconteceu comigo na UFV, o programa PIBIC da UFT tem desempenhado um papel crucial na formação de jovens cientistas, oferecendo-lhes a oportunidade de mergulhar no universo da pesquisa. Não se trata apenas de um investimento em conhecimento,

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

mas em pessoas: estudantes que, movidos pela curiosidade e guiados por mentores dedicados, ajudaram a responder a perguntas cruciais para o setor agrário e para o meio ambiente. Dito de outra forma, o programa tem sido um verdadeiro alicerce para o avanço da pesquisa e da inovação em Ciências Agrárias. Projetos conduzidos por estudantes e seus orientadores têm gerado soluções para desafios locais e globais, desde a sustentabilidade da produção agrícola até a preservação da biodiversidade.

Por fim, convido os leitores a explorarem as páginas desta coletânea com atenção e entusiasmo. Os relatos aqui apresentados são um testemunho vivo do impacto transformador da iniciação científica e um lembrete do poder da educação para moldar futuros brilhantes. Também parablenizo a UFT e todos os envolvidos por esses 20 anos de excelência. Que esta coletânea inspire novas gerações a trilhar caminhos igualmente frutíferos, mantendo vivo o espírito de curiosidade, dedicação e inovação que caracteriza a iniciação científica.

Por Prof. Eugênio Eduardo de Oliveira

Sumário

Capítulo 1	13
ANÁLISE DE DIFERENTES MÉTODOS PARA EXTRAÇÃO DIRETA DE DNA DE SOLO AGRÍCOLA E NATIVO	
Vitória Reis Werner Eláiny Cristina Alves Martins Oliveira	
Capítulo 2	32
EFEITO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ESTIMADA POR DIFERENTES MÉTODOS NAS SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS DO BALANÇO HÍDRICO	
Danillo Mateus Dias de Souza Everton Alves Rodrigues Pinheiro	
Capítulo 3	52
AVALIAÇÃO DO CONTROLE DA BRUSONE DO ARROZ POR MEIO DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE PLANTAS E DA RESISTÊNCIA DE GENÓTIPOS, EM FORMOSO DO ARAGUAIA, TOCANTINS	
João Victor de Almeida Oliveira Gil Rodrigues dos Santos	
Capítulo 4	65
AVALIAÇÃO DO CONTROLE DA MANCHA DE GRÃOS DO ARROZ IRRIGADO POR MEIO DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE PLANTAS E DA RESISTÊNCIA DE GENÓTIPOS, EM FORMOSO DO ARAGUAIA, TOCANTINS	
Joele Andressa Zanfra Gil Rodrigues dos Santos	
Capítulo 5	78
AVALIAÇÃO BIOQUÍMICA E QUÍMICA DE LINHAGENS DE FEIJÃO-CAUPI DURANTE ARMAZENAMENTO	
Allyne Barbosa Ribeiro Rodrigo Ribeiro Fidelis	
Capítulo 6	89
SELEÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO-CAUPI NO SUL DO ESTADO DO TOCANTINS	
Rayner Sales Barros Rodrigo Ribeiro Fidelis	
Capítulo 7	99

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO
DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DA
REGIÃO SUDOESTE DO ESTADO DO TOCANTINS

Alykson Lima Dias

José de Oliveira Melo Neto

Capítulo 8 122

ECOTOXICIDADE DO INSETICIDA NEONICOTINÓIDE CLOTIANIDINA EM
PLANÁRIA *Girardia tigrina* COMO BIOINDICADOR DE EFEITOS LETAIS E
SUBLETAIS

Ayumi Lima Takahashi

Jessica Soares Pereira

Renato de Almeida Sarmento

Capítulo 9 139

BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA COM ZINCO LÍTIO NA PRESENÇA DE
SUBSTÂNCIAS HÚMICAS EM PLANTAS DE ALFACE VIA ADUBAÇÃO
FOLIAR

Ihago Junior Ferreira da Silva

Ildon Rodrigues do Nascimento

Capítulo 10 152

EFICIÊNCIA DO TRICHODERMA NO BIOCONTROLE E COMO
PROMOTOR DE CRESCIMENTO VEGETAL NA CULTURA DO MILHO

Vitoria Gomes Parente

Lillian França Borges Chagas

Capítulo 11 164

PRODUTIVIDADE COMERCIAL DE BULBOS DE CEBOLAS EM FUNÇÃO
DA DENSIDADE DE PLANTAS

Jennyfer de Fátima Rofrigues Marins

Ildon Rodrigues do Nascimento

Capítulo 12 180

PRODUTIVIDADE COMERCIAL DE BULBOS DE CEBOLAS EM FUNÇÃO
DA DENSIDADE DE PLANTAS

Laura Ferreira Fidelis

Ildon Rodrigues do Nascimento

Capítulo 13 197

Eficiência de *Trichoderma* no biocontrole e como promotor de
crescimento vegetal na cultura arroz

Camille França Barbosa

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO
DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Lillian França Borges Chagas

Capítulo 14 207

SISTEMAS AGRÍCOLAS PARA CULTIVO DE SOJA NO CERRADO

Anna Carolina Dias de Souza

Rodrigo Ribeiro Fidelis

Capítulo 15 219

QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE FEIJÃO-CAUPI

PRODUZIDAS NO CERRADO TOCANTINENSE

Luiza Borges Aguiar Coelho

Rodrigo Ribeiro Fidelis

Capítulo 16 231

ESPECTRÔMETRO NIR PORTÁTIL PARA AVALIAÇÃO E DISCRIMINAÇÃO
DO CARVÃO VEGETAL DE ESPÉCIES NATIVAS DA AMAZÔNIA E DO
CERRADO

Luan dos Santos Farias

Lívia Cássia Viana

Capítulo 17 247

Análise das ocorrências de incêndios florestais nos municípios do
Estado do Tocantins

Narah Sâmilla Fernandes Santos;

Marcos Giongo;

Capítulo 18 263

TEORES DE AÇÚCARES EM DOIS CLONES DE EUCALIPTO EM
RESPOSTA AO PARASITISMO PELO INSETO GALHADOR *Leptocybe*
invasa

Mariane Lopes Rodrigues

Maíra Ignacio Sarmento

Capítulo 19 273

MORFOMETRIA DE FRUTOS E GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE CEDRO
MARIA (*Calophyllum brasiliense* Cambess)

Luiz Felipe Tiussi de Mendonça

Maria Cristina Bueno Coelho

Capítulo 20 296

INFLUÊNCIA DO TEMPO DE EXPOSIÇÃO AO SOLO NAS PROPRIEDADES
ENERGÉTICAS DAS MADEIRAS DE *Eucalyptus urophylla* x *grandis* E

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO
DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Myracrodruon urundeuva Fr. All
Maria Eduarda Pinto dos santos
Thatiele Pereira Eufrazio de Moraes
Nicoli Teixeira
Karolayne Ferreira Saraiva
Raquel Marchesan

Capítulo 21 314
UTILIZAÇÃO DA NANOCELULOSE COMO REFORÇO EM PAINÉIS DE
Eucalyptus E CASCA DO FRUTO DO PEQUI
Thatiele Pereira Eufrazio de Moraes
Maria Eduarda Pinto dos Santos
Nicoli Teixeira
Raquel Marchesan

Capítulo 22 331
RESPOSTAS FITOTÉCNICAS DA CULTURA DO MILHO SOB INOCULAÇÃO
DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATOS EM CAMPO
Carlos Eduardo Silveira Costa Filho
Susana Cristine Siebeneichler

Capítulo 23 343
PRODUÇÃO E IMOBILIZAÇÃO DE CÉLULAS ÍNTEGRAS DE *Aspergillus*
oryzae IPT-301 EM BUCHA VEGETAL E SUA APLICAÇÃO EM REATOR DE
LEITO FIXO (PBR) VISANDO A PRODUÇÃO DE
FRUTO-OLIGOSSACARÍDEOS
Kauã Marques de Oliveira
Michelle da Cunha Abreu Xavier
Sergio Andres Villalba Morales

Sobre os organizadores 362

Capítulo 1

ANÁLISE DE DIFERENTES MÉTODOS PARA EXTRAÇÃO DIRETA DE DNA DE SOLO AGRÍCOLA E NATIVO

Vitória Reis Werner¹

Eláiny Cristina Alves Martins Oliveira²

RESUMO

Os microrganismos do solo são fundamentais para os ciclos biogeoquímicos do planeta, mas estudar esses organismos é difícil devido à complexidade físico-química do solo. Fatores como temperatura, pH, estrutura e matéria orgânica dificultam o desenvolvimento de meios de cultura adequados, o que limita o uso de métodos microbiológicos tradicionais. No Cerrado, um bioma do Planalto Central, o solo é naturalmente ácido, com baixa fertilidade e atividade microbiana. Não há protocolos amplamente aceitos para extração de DNA de solos do Cerrado, o que torna essa pesquisa relevante. O objetivo é comparar protocolos de extração de DNA e sugerir adaptações para aumentar o rendimento de material extraído. Foram coletadas amostras de solos de uma área de monocultivo de arroz e uma área nativa de Cerrado em Formoso do Araguaia, TO. Após a coleta, as amostras foram separadas para análise físico-química, e seis diferentes metodologias de extração de DNA foram testadas. O Método A apresentou os melhores resultados quantitativos, enquanto o Método C obteve destaque na análise qualitativa por eletroforese. A presença de contaminantes, como ácidos húmicos, provavelmente afetou os resultados obtidos. Em resposta a essa problemática, foi desenvolvido um protocolo de purificação que incorpora a utilização de carvão ativado como uma etapa adicional. Constatou-se que tal modificação elevou consideravelmente a qualidade do material extraído, fator este, que possibilitou seu uso para análises posteriores e novos estudos.

Palavras-chave: Protocolos; Microbiologia do solo; Cerrado.

¹ Graduanda em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Pibic/UFT, Universidade Federal do Tocantins, vitoria.werner@mail.uft.edu.br

² Doutora em Biodiversidade e Biotecnologia, Curso de Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Universidade Federal do Tocantins, biocris@mail.uft.edu.br

INTRODUÇÃO

O solo configura um importante depósito de diversidade genética microbiana (CURTIS, et al., 2002), podendo, então, ser considerado um ambiente complexo. Devido a essa complexidade, as técnicas convencionais dependentes de cultura de triagem da diversidade microbiana não permitem a caracterização de toda a comunidade microbiana de um determinado habitat, por conta da especificidade de nutrientes e condições ambientais necessários para cultivar diferentes espécies microbianas (FÁTIMA; PATHAK; VERMA, 2014). De acordo com a literatura, cerca de 1% do total de espécies microbianas do solo são cultiváveis usando a técnica convencional de cultura em placa (VERMA e SATYANARAYANA, 2011).

Os microrganismos presentes no solo desempenham um papel crucial na manutenção dos ciclos biogeoquímicos da Terra e no equilíbrio da vida (CROWTHER, et al., 2019). Por conta disso, ferramentas moleculares, como a extração de DNA e amplificação de determinados genes, têm auxiliado no entendimento sobre as comunidades microbianas do solo e produzido informações menos tendenciosas (ARAÚJO, 2017).

O Cerrado é caracterizado por sua extensão e biodiversidade. Este bioma é o segundo maior da América do Sul, presente em todas as regiões brasileiras, e ocupa uma área de 2.036.448 km², cerca de 23,3% do território nacional (ITABORAHY, 2023). Segundo Fageria e

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Stone (1999), o solo do Cerrado, em sua forma natural, apresenta elevado teor de acidez. Esse fator acarreta a deficiência e/ou toxidez nutricional, baixa capacidade de retenção de água e baixa atividade dos microrganismos (FAGERIA, 2001).

A extração de DNA de amostras do solo pode ser realizada a partir de duas abordagens: direta ou indireta. A direta, baseada no trabalho de Ogram *et al.* (1987) e Steffan *et al.* (1988), não é necessário o isolamento celular. Enquanto a indireta é preciso uma etapa inicial de extração celular (GABOR, *et al.*, 2003). Após a extração, diversos contaminantes podem estar presente na amostra de DNA e interferir nos resultados, para isso, é necessária uma etapa adicional de purificação (KREADER, 1996).

Até o presente momento, não há protocolos de extração abrangentes para o solo do Cerrado, devido aos poucos estudos relacionados ao bioma e as propriedades físico-químicas variáveis. Por conta disso, essa pesquisa tem por objetivo extrair o material genético das amostras e estudar comparativamente os protocolos propostos na literatura, como também sugerir adequações nas metodologias que resultem em maior rendimento de DNA.

MÉTODO E MATERIAIS

Local

As amostras de solo foram coletadas em uma fazenda pertencente à Companhia Brasileira de

Agropecuária
do Aracaju
coletas de
natural (



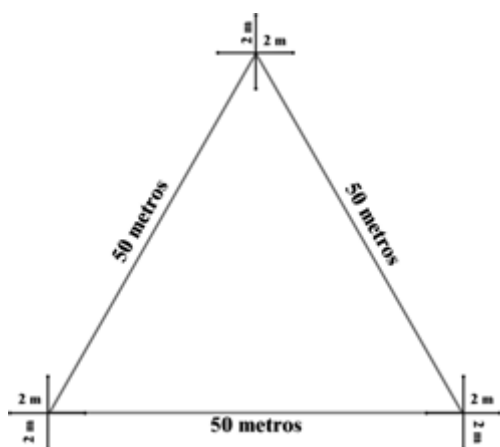
formoso
para as
servação

B) área

Fonte: Autores, 2023.

Em cada área foram selecionados três pontos de amostragem do solo. O primeiro ponto foi escolhido aleatoriamente e, a partir dele, os outros dois pontos foram estabelecidos a uma distância de 50 metros, formando um triângulo (Figura 2). Na coleta das amostras de solo, foram utilizados tubos de PVC cortados em segmentos de 15 cm, previamente esterilizados.

Figura 2 – Representação gráfica dos pontos de coleta dos solos.



Fonte: Autores, 2024.

Em cada ponto de amostragem, foram coletados cinco subpontos de solo a uma profundidade de 0-10 cm, distanciados em dois metros do ponto central. As áreas escolhidas para o estudo estão listadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Localização geográfica dos pontos de coleta dos solos

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Pontos de Coleta	Localização
Area de Cultivo (AC)	
Ponto 1	-11,429794; -49,937161
Ponto 2	-11,430229; -49,937129
Ponto 3	-11,429855; -49,936863
Area Nativa (APP)	
Ponto 1	-11,42819; -49,932636
Ponto 2	-11,428162; -49,933071
Ponto 3	-11,42794; -49,932587

Fonte: Autores, 2024.

Armazenamento das amostras

Após a coleta, as amostras foram transferidas para o Laboratório de Bioquímica e Genética Aplicada para armazenamento e posterior uniformização. Cada ponto de coleta teve seus cinco subpontos homogeneizados de forma manual, o que resultou em uma única amostra representativa de cada ponto coletado. Assim, foram obtidas três amostras compostas de solo da área de monocultivo e três da área de preservação permanente.

Uma parte das amostras foi direcionada para análise físico-química. Outra fração foi pesada e dividida em sacos *ziplock* e estas foram usadas nas análises moleculares. Essas alíquotas foram armazenadas no *freezer* e mantidas em $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, retirando-as apenas no momento da extração.

Análise do solo

A análise físico-química do solo de monocultura e da área preservada foi realizada na Sellar Análises Agrícolas, localizada em Gurupi-TO.

Extração de DNA

Para a extração do material genético do solo, foram utilizadas quatro metodologias diferentes:

- Cullen e Hirsch (1998) - Método A;
- Saano *et al.* (1995) - Método B;
- Smalla *et al.* (1993) - Método C;
- Rosa *et al.* (2006) - Método D.

Todos os protocolos tiveram modificações. As extrações foram feitas em triplicatas para ambos os solos. O método de Smalla *et al.* (1993) foi posteriormente adaptado para testes com um novo método de purificação com carvão ativado (10% m/v), resultando nos Método E e Método F.

Método C

Uma amostra de solo de 0,35 g foi colocada em microtubo de 1,5 mL, sendo adicionados 375 µl de tampão fosfato de sódio pH 8,0 (0,12 M) e 0,5 ml de pérolas de vidro de 0,1 mm de diâmetro. Posteriormente, esse material foi submetido a três ciclos de 90 segundos de *bead beater*, isto é, agitação em aparelho vortex, com intervalo de 10 segundos entre cada ciclo. Em seguida, foi adicionado SDS 10% para uma concentração final igual a 1,2%, e a amostra foi incubada a temperatura ambiente por aproximadamente 15 minutos. Adicionou-se um volume de clorofórmio:álcool - isoamílico (24:1), misturado manualmente, recuperando-se a fase aquosa, seguindo-se de centrifugação a 11750 rpm por 5 minutos para a recuperação da fase aquosa. Foram adicionados 1/10 do volume de NaCl (5,0 M) e dois volumes de etanol 96%. Esta mistura foi mantida a - 20 °C por uma hora, sendo posteriormente centrifugada por 15 minutos a 735 rpm a temperatura ambiente. O sobrenadante foi descartado, o precipitado

ressuspenso em etanol gelado 70%, centrifugado novamente, e o novo precipitado submetido à secagem. Finalmente, o precipitado foi ressuspenso em 100 µl de tampão TE, e a solução armazenada a - 20 °C.

Método E

Pesou-se aproximadamente 0,35 g de cada amostra e adicionou 500 µL de tampão fosfato de sódio pH 8 (0,12 M), 0,5 mL de pérolas de vidro com 0,1 mm de diâmetro e 5 µL de proteinase K (20 mg/mL). A amostra foi agitada em vortex por 90 segundos. Em seguida, adicionou-se SDS a 10% até atingir uma concentração final de 1,2%. Posteriormente, as amostras foram incubadas à temperatura ambiente por 20 minutos e centrifugadas a 10.000 rpm por 10 minutos. Após a centrifugação, a fase aquosa foi recuperada e a ela foi adicionado um volume de clorofórmio:álcool isoamílico (24:1). Após algumas imersões, as amostras foram centrifugadas novamente nas mesmas condições, e a fase aquosa foi recuperada. A esta fase, acrescentou-se 1/10 do volume de NaCl (5M) e um volume de álcool isopropílico. Em seguida, a amostra foi armazenada a -20 °C por uma hora e centrifugada novamente por 15 minutos a 1.000 rpm. O sobrenadante foi descartado e o precipitado foi ressuspendido em etanol gelado 70%. Na sequência, o material foi centrifugado a 5.000 rpm por 15 minutos, o sobrenadante foi descartado e o precipitado foi deixado para secar naturalmente. Finalmente, a amostra foi ressuspendida em 100 µL de tampão TE e armazenada a -20 °C.

Método F

Pesou-se aproximadamente 0,35 g de cada amostra e adicionou 500 µL de tampão fosfato de sódio pH 8 (0,12 M), 0,5 mL de pérolas de vidro com 0,1 mm de diâmetro e 5 µL de proteinase K (20 mg/mL). A amostra foi agitada em vortex por 90 segundos. Em seguida, adicionou-se SDS a 10% até atingir uma concentração final de 1,2%.

Posteriormente, as amostras foram incubadas à temperatura ambiente por 20 minutos e centrifugadas a 10.000 rpm por 10 minutos. Após a centrifugação, a fase aquosa foi recuperada e a ela foi adicionado um volume de clorofórmio:álcool isoamílico (24:1). Após algumas imersões, as amostras foram centrifugadas novamente nas mesmas condições, e a fase aquosa foi recuperada. Adicionou 100 µL da solução de carvão ativado (10% m/v) à amostra e incubou em temperatura ambiente por 10 minutos. Em seguida, centrifugou-se novamente sob as mesmas condições e recuperou-se a fase aquosa. A esta fase, acrescentou-se 1/10 do volume de NaCl (5M) e um volume de álcool isopropílico. Em seguida, a amostra foi armazenada a -20 °C por uma hora e centrifugada novamente por 15 minutos a 1.000 rpm. O sobrenadante foi descartado e o precipitado foi ressuscitado em etanol gelado 70%. Na sequência, o material foi centrifugado a 5.000 rpm por 15 minutos, o sobrenadante foi descartado e o precipitado foi deixado para secar naturalmente. A amostra foi então ressuscitada em 100 µL de tampão TE e armazenada a -20 °C.

Quantificação e Qualificação do DNA

O material genético extraído foi quantificado em NanoDrop da BioDrop µLITE+ para verificar sua concentração (ng/µL).

As amostras de DNA extraídas foram qualificadas por eletroforese em gel de agarose a 1% (1 g de agarose em 100 mL de TBE, com adição de 5 µL de brometo de etídio). A corrida foi conduzida a 100 volts por cerca de 40 minutos.

DADOS E DISCUSSÃO

O resultado da análise físico-química do solo segue na tabela 2.

Tabela 2 – Resultado da análise físico-química do solo.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO
DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

CARACTERÍSTICAS	AREA DE CULTIVO (AC)	AREA NATURAL (APP)
pH CaCl ₂	4,8	4,8
P meh (mg.dm ⁻³)	25,2	5,9
S-SO ₄ -2 (mg.dm ⁻³)	35	9
K (mg.dm ⁻³)	105	82
K (cmolc.dm ⁻³)	0,27	0,21
Ca (cmolc.dm ⁻³)	3,7	1,8
Mg (cmolc.dm ⁻³)	1,5	1,0
Al (cmolc.dm ⁻³)	0,50	0,80
H+Al (cmolc.dm ⁻³)	3,40	3,80
Matéria orgânica (dag/Kg)	2,8	1,7
Carbono orgânico (dag/Kg)	1,6	1,0
B (mg.dm ⁻³)	0,30	0,38
Cu (mg.dm ⁻³)	2,5	1,2
Fe (mg.dm ⁻³)	198	137
Mn (mg.dm ⁻³)	9,9	11,1
Zn (mg.dm ⁻³)	2,5	1,1
SB (cmolc.dm ⁻³)	5,47	3,01
CTCt (cmolc.dm ⁻³)	8,87	6,81
V (%)	62	44
M (%)	8	21

Fonte: Sellar, 2023.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

As áreas de monocultivo e natural, apresentaram valores semelhantes na maior parte das características físico-químicas analisadas. Tanto o pH do solo cultivado quanto o da área natural são caracterizados como ácido. De acordo com Sobral *et al.* (2015), o pH entre 4 e 5 indica a presença de alumínio trocável (Al). Todavia, a existência de Al no solo pode inibir o crescimento das raízes e influenciar a disponibilidade de outros nutrientes. A saturação por bases (V%) é um excelente indicativo das condições gerais de fertilidade do solo, no qual solos férteis apresentam um valor maior que 50% e solos pouco férteis menores que 50% (RONQUIM, 2010). Visto isso, pode-se notar que o solo da área nativa apresenta componentes ácidos e uma baixa fertilidade, enquanto a área de cultivo está em uma faixa ideal de fertilidade, devido ao manejo de fertilizantes na plantação.

O estudo realizado por Lammel *et al.* (2018) revela a importância das propriedades físico- químicas na atividade das comunidades microbianas dos solos tropicais. Os tipos de solos podem influenciar na atividade dessas comunidades e interferir no acesso a essa diversidade. Para determinar a classificação do solo que predomina no local de estudo, é preciso realizar uma análise granulométrica. A Tabela 3 apresenta o resultado nessa análise.

Tabela 3 - Análise granulométrica dos solos.

	AC	APP
Argila (g/Kg)	550	275
Silte (g/Kg)	75	50
Areia tota (g/Kg)	375	675
Classificação	Argilosa	Média
Tipo de solo (MAPA)	3	2

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

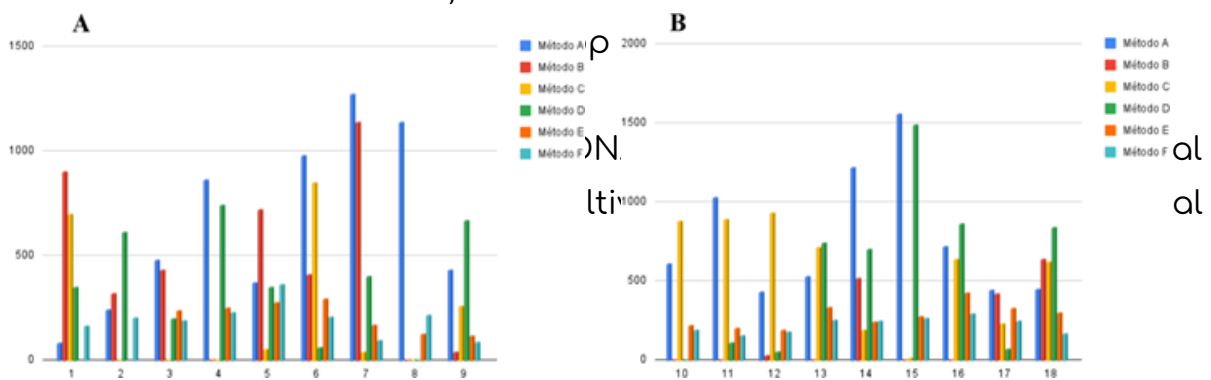
Fonte: Sellar, 2023.

Conforme a tabela acima, classifica-se o solo da área de cultivo como argiloso e do tipo 3, que tem como característica altos valores de retenção de água, além de ser menos suscetível a erosão em área não declivosa. Em condições úmidas há grande aderência da massa do solo no implemento agrícola (PRADO, 1991). A área de preservação foi classificada como médio e do tipo 2. Esse tipo de solo é constituído por areia, argila e húmus, com teor mínimo de 15% de argila e menor do que 35% (MAPA, 2008).

Uma vez que a comunidade bacteriana do solo desempenha um papel crucial na mineralização da matéria orgânica, na ciclagem de nutrientes, na produção de plantas e nas emissões de gases com efeito de estufa (DELGADO-BAQUERIZO, et al., 2017), é imperativo uma compreensão profunda das associações entre o tipo de vegetação, a comunidade bacteriana do solo e as funções relacionadas.

Em conformidade com Yang *et al.* (2024), nas últimas décadas, os avanços tecnológicos nos setores de sequenciamento e métodos computacionais revolucionaram o estudo das comunidades microbianas do solo, o que proporcionou aos pesquisadores se aprofundarem nas interações e dinâmicas complexas que regulam sua montagem.

Na análise de DNA, as amostras foram submetidas a análise



Fonte: Autores, 2024.

Dentre os protocolos testados, o Método A apresentou os maiores resultados para ambos os solos, enquanto o Método C obteve um desempenho satisfatório na área nativa. Nota-se que algumas amostras não apresentaram valores. Isso pode ter acontecido devido a alguns fatores, como interferência de fundo e a presença de ácidos húmicos, principal contaminante nas extrações de DNA.

Na análise qualitativa, o Método A não gerou nenhum resultado, enquanto o Método C foi o único a apresentar um arrasto. Visto a presença desse arrasto no Método C, foram realizadas adaptações neste protocolo com a finalidade de obter um material genético com menos contaminantes, o que resultou no Método E. Na Figura 3, pode-se observar

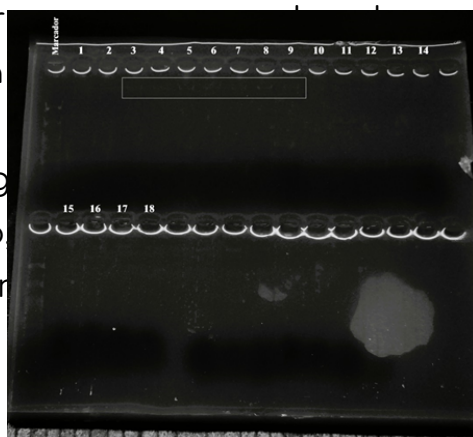


Figura 3 – Gel de agarose realizado pelo Método E. (No retângulo, amostras 1 a 9 - área de cultivo; amostras 10 a 14 - área de controle; amostras 15 a 18 - área de controle).

Fonte: Autores, 2024.

A partir da análise dos resultados, embora o Método E tenha apresentado um resultado satisfatório, buscou-se melhorar o processo de extração. Para isso, a partir de uma revisão na literatura, desenvolveu-se uma nova etapa de purificação no protocolo, que incorpora a utilização de carvão ativado como etapa adicional, resultando no Método F. O carvão ativado foi selecionado devido à sua capacidade de adsorver impurezas (Silva et al., 2020), como ácidos húmicos, que frequentemente interferem nas análises posteriores de DNA. Na Figura 4, pode-se observar a diferença da purificação com carvão ativado, o que resultou em uma amostra de melhor qualidade.

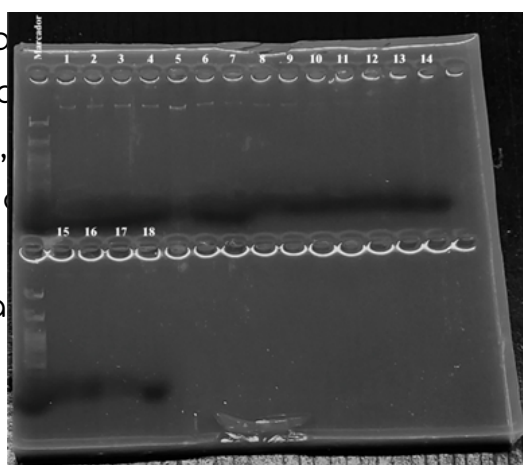


Figura 4 – Gel de eletroforese realizado pelo Método F.

(amostras 1 a 9 - área de cultivo; amostras 10 a 18 - área nativa).

Fonte: Autores, 2024.

Com essa adaptação, o protocolo reformulado não apenas aumentou o rendimento do DNA, como também otimizou significativamente a qualidade do material, tornando-o mais adequado para aplicações subsequentes.

Nas imagens acima, pode-se notar que o protocolo utilizado apresentou um melhor comportamento na área de cultivo. Devido ao

constante uso de fertilizante contendo fósforo e potássio (Tabela 2) para auxiliar na produção da lavoura, esses nutrientes podem ter favorecido o crescimento microbiano e consequentemente, causado um aumento da biomassa microbiana, o que foi refletido na extração de DNA.

Tais análises validam a ideia de que o bioma Cerrado pode proporcionar um ambiente distinto às comunidades microbianas do solo e, em virtude disso, é contundente estabelecer um protocolo padrão para a extração de DNA que leve em consideração todos os parâmetros.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa proposta representa um avanço nas técnicas de extração e purificação de DNA de solos. A introdução do carvão ativado como etapa adicional na metodologia contribuiu significativamente para a remoção de contaminantes. Os resultados obtidos evidenciam a superioridade do protocolo aprimorado em comparação com as metodologias testadas inicialmente. Consequentemente, o novo método não apenas promove a eficiência da extração de DNA, mas também estabelece uma base sólida para futuros estudos e análises.

Ademais, são necessários mais estudos para uma melhor compreensão da dinâmica dos microrganismos presentes em ambos os solos e sua relação com os nutrientes presentes, já que tais fatores podem auxiliar no direcionamento das plantações.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, W. A.; dos SANTOS, C. E. M. Melhoramento Genético de Plantas no Século XXI. *Agronomia, Colhendo as Safras do Conhecimento*. Espírito Santo, 2017.

CROWTHER, T. W.; VAN DEN HOOGEN, J.; WAN, J.; MAYES, M. A.; KEISER, A. D.; MO, L.; AVERILL, C.; MAYNARD, D. S. The global soil community and its influence on biogeochemistry. *Science*, v. 365, n. 6455, p. eaav0550, 2019.

CULLEN, D. W.; HIRSCH, P. R. Simple and rapid method for direct extraction of microbial DNA from soil for PCR. *Soil Biology & Biochemistry*, v.30, n.8/9, p.983-993, 1998.

CURTIS, T. P.; SLOAN, W. T.; SCANNELL, J. W. Estimating prokaryotic diversity and its limits. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 99, n. 16, p. 10494-10499, 2002.

FAGERIA, N. K. Efeito da calagem na produção de arroz, feijão, milho e soja em solo cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Santo Antônio de Goiás, v. 36, n. 11, p. 1419-1424, 1 nov. 2001.

FAGERIA, N. K.; STONE, L. F. Manejo da acidez dos solos de cerrado e de várzea do Brasil. *Embrapa Arroz e Feijão*, Santo Antônio de Goiás, p. 42, 1999.

FATIMA, F.; PATHAK, N.; VERMA, S, R. An improved method for soil DNA extraction to study the microbial assortment within rhizospheric region. *Molecular biology international*, v. 2014, n. 1, p. 518960, 2014.

GABOR, E. M.; DE VRIES, E. J.; JANSSEN, D. B. Efficient recovery of environmental DNA for expression cloning by indirect extraction methods. *FEMS microbiology ecology*, v. 44, n. 2, p. 153-163, 2003.

ITABORAHY, L. O que é Cerrado: Características e Biodiversidade - *IPAM Amazônia*, 7 de jul. de 2023.

KOEPPEN, W. Climatologia. *Fundo de Cultura Economica*. México, 1948. 466 p.

KREADER, C. A. Relief of amplification inhibition in PCR with bovine serum albumin or T4 gene 32 protein. **Applied and environmental microbiology**, v. 62, n. 3, p. 1102-1106, 1996.

LAMMEL, D. R.; BARTH, G.; OVASKAINEN, O.; CRUZ, L. M.; ZANATTA, J. A.; RYO, M.; SOUZA, E. M.; PEDROSA, F. O. Direct and indirect effects of a pH gradient bring insights into the mechanisms driving prokaryotic community structures. **Microbiome**, v. 6, n. 1, p. 1-13, 2018.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Instrução Normativa no 2, de 9 de outubro de 2008.

OGRAM, A.; SAYLER, G. S.; BARKAY, T. The extraction and purification of microbial DNA from sediments. **Journal of microbiological methods**, v. 7, n. 2-3, p. 57-66, 1987.

OLIVEIRA, M. D. S.; REGITANO, L. D. A.; ROESE, A. D.; ANTHONISEN, D. G.; PATROCÍNIO, E. D.; PARMA, M. M.; SCAGLIUSI, S. M. M.; TIMÓTEO, W. H. B.; JARDIM, S. N. Fundamentos teórico-práticos e protocolos de extração e de amplificação de DNA por meio da técnica de reação em cadeia de polimerase. **Embrapa Pecuária Sudeste**, São Carlos, 2007.

ROSA, M. M.; TAU-KTONISIELO, S. M.; CECCATO-ANTONINI, S. R. Otimização de técnica para extração de DNA de solo de clima tropical. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA**, 23, Santos, Resumos. Sociedade Brasileira de Microbiologia, 2005.

RONQUIM, C. C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Embrapa Monitoramento por Satélite**, Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Campinas, 26 p, 2010.

SAANO, A. TAS, E.; PIPPOLA, S.; LINDSTROM, K.; VAN ELSAS, J. D. Extraction and analysis of microbial DNA from soil, in: TREVORS, J. T.;

VAN ELSAS, J. D. (Eds.), **Nucleic Acids in the Environment**. Springer, Berlin, Germany, pp. 49-67, 1995.

SILVA, G. S. P. Carvão ativado de caroço de pêssgo, uma alternativa para absorção de compostos contaminantes em água de abastecimento público. 2020. 71 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Química - Doutorado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Guarapuava - PR.

SMALLA, K.; CRESSWELL, N.; MENDONÇA-HAGLER, L. C.; WOLTERS, A.; VAN ELSAS, J. D. Rapid DNA extraction protocol from soil for polymerase chain reaction-mediated amplification. **Journal of Applied Bacteriology**, v.74, n.1, p.78-85, 1993.

SOBRAL, L. F.; BARRETO, M. D. V.; DA SILVA, A. J.; DOS ANJOS, J. L. Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos. **Embrapa Tabuleiros Costeiros**, Aracaju, 2015.

STEFFAN, R. J., GOKSØYR, J., BEJ, A. K.; ATLAS, R. M. Recovery of DNA from soils and sediments. **Applied and environmental microbiology**, v. 54, n. 12, p. 2908-2915, 1988.

VERMA, D.; SATYANARAYANA, T. An improved protocol for DNA extraction from alkaline soil and sediment samples for constructing metagenomic libraries. **Applied biochemistry and biotechnology**, v. 165, p. 454-464, 2011.

YANG, B.; FENG, W.; ZHOU, W.; HE, K.; YANG, Z. Association between Soil Physicochemical Properties and Bacterial Community Structure in Diverse Forest Ecosystems. **Microorganisms**, v. 12, n. 4, p. 728, 2024.

FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Federal do Tocantins.

ANEXO

Método A

A cada amostra de solo de 0,30 g foram adicionados 750 µl de tampão fosfato de sódio pH 8,0 (120 mM), 75 µl de SDS 10% e 0,5 ml de pérolas de vidro de 0,1 mm de diâmetro. Esse material foi submetido por 30 segundos à etapa de bead beater utilizando-se agitador vórtex, sendo em seguida centrifugado a 15000 rpm por cinco minutos. Ao sobrenadante coletado foram adicionados EDTA pH 8,0 (0,5 M) até a concentração final de 100 mM e acetato de potássio pH 8,0 (5,0 M), para se obter a concentração final de 500 mM. O material foi deixado em gelo por 20 minutos, sendo então submetido a uma centrifugação a 15000 rpm por cinco minutos. O sobrenadante foi novamente coletado e recebeu um volume de tampão fosfato de sódio pH 8,0 (120 mM) contendo 4% de CTAB, e submetido a uma agitação de 30 minutos para precipitar ácidos húmicos e fúlvicos. Após a centrifugação de 15000 rpm por cinco minutos, o sobrenadante foi coletado e adicionou-se um volume de isopropanol. Após nova centrifugação, o sobrenadante foi descartado, o precipitado lavado com etanol 80% e submetido à secagem. O DNA foi então ressuspenso em 100 µl de tampão TE e estocado a - 20 °C.

Método B

A cada amostra de 0,30 g de solo foram adicionados 625 µl de solução de lise contendo tampão fosfato de sódio (0,12 M pH 8,0), 1% de SDS e 100 µl/ml de proteinase K. A mistura foi homogeneizada e ficou incubada por uma hora a temperatura de 37 °C. Foram adicionados 120 µl de cloreto de sódio (5 M) preparado em água destilada. Realizou-se, novamente a homogeneização da amostra e adicionaram-se 94 µl de CTAB 10% em 0,7 M NaCl. A mistura foi

incubada a 65 °C por 20 minutos, para a completa desnaturação das proteínas e liberação dos polissacarídeos ligados ao DNA. A amostra foi centrifugada por 15 minutos a 9000 rpm. Coletou-se o sobrenadante, que foi transferido a um novo tubo e adicionou-se um volume de isopropanol. Misturou-se bem a amostra e esta foi incubada por uma hora a - 20 °C. Após este período, realizou-se a centrifugação por 15 minutos a 10000 x g. O sobrenadante foi descartado e o precipitado formado foi lavado com 300 µl de etanol 70%, seco ao ar. O precipitado foi ressuspenso em 100 µl de tampão TE, e a solução foi armazenada a - 20 °C.

Capítulo 2

EFEITO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA ESTIMADA POR DIFERENTES MÉTODOS NAS SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS DO BALANÇO HÍDRICO

Danillo Mateus Dias de Souza¹
Everton Alves Rodrigues Pinheiro²

RESUMO

O desenvolvimento de uma cultura agrícola está diretamente relacionado às variáveis agrometeorológicas, que controlam por exemplo, a demanda hídrica da atmosfera. A evapotranspiração de referência (ET_o) é a variável necessária aos cálculos de demanda hídrica de uma cultura agrícola, porém, sua medida por meios diretos é de difícil execução. Desse modo, geralmente utilizam-se métodos semi empíricos e físicos para sua estimativa. Dentre os métodos físicos, o método padrão FAO 56 de Penman-Monteith é o mais indicado. Entretanto, por ser um método que necessita de várias informações meteorológicas, outros métodos semi empíricos são às vezes necessários, especialmente para locais que contam com estações com instrumentação limitada. Essa pesquisa objetivou testar sete métodos semi empíricos no cálculo da ET_o: Hargreaves-Original; Hargreaves-Samani; McCloud; Stephens-Stewart; Radiação-Temperatura; Thornthwaite; e Turc. Os valores de ET_o de cada método foram incorporados em um modelo hidrológico a fim de verificar a propagação das diferenças entre os métodos na simulação dos componentes do balanço hídrico, comparando as simulações hidrológicas com a simulação usando o método padrão da FAO 56. As simulações foram realizadas com dados diários de três estações meteorológicas localizadas em Barreiras/BA, Araguaína/TO e Manaus/AM, para o ano de 2016, bem como os parâmetros e propriedades do solo exigidos pelo modelo. As simulações foram feitas para uma condição de solo com pastagem. Os resultados das simulações mostraram que os métodos de Hargreaves-Original (HARGREAVES, 1974) e Radiação- Temperatura (OUDIN et al., 2005) apresentaram melhor desempenho, com valores dos componentes do balanço hídrico mais próximos daqueles simulados com dados de ET_o do método FAO 56, independente da localidade. Analisando os parâmetros exigidos pelos respectivos métodos, pode-se concluir que para uma estimativa de ET_o mais próxima do

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

método FAO 56 é indicado ter no mínimo as variáveis temperatura do ar e radiação solar global.

Palavras-chave: demanda hídrica de cultivos; disponibilidade hídrica; modelagem hidrológica.

INTRODUÇÃO

As variáveis agrometeorológicas interferem diretamente na fisiologia e produtividade das plantas dos diversos sistemas agrícolas (MONTEIRO, 2009), tornando a agricultura uma atividade altamente dependente das condições meteorológicas, em que a disponibilidade hídrica do solo é um fator limitante à produtividade das culturas. Sendo a evapotranspiração real da planta um processo dinâmico, o planejamento correto das necessidades hídricas de uma cultura requer o conhecimento da disponibilidade hídrica local para os diversos tipos de solos sob condições diversas de demanda hídrica da atmosfera (BRITO, et al., 2018).

O desenvolvimento das plantas depende fundamentalmente dos processos de fotossíntese e respiração. O processo de fotossíntese dos vegetais é controlado pela transpiração, sendo a água dentro do vegetal o meio para o transporte de nutrientes e reações químicas que produzem energia e biomassa, além de atuar como regulador de temperatura (TAIZ; ZEIGER, 2017). Assim, o suprimento adequado de água às plantas é essencial para reduzir ou até mesmo eliminar a quebra de safra devido à ocorrência de estresse hídrico.

A modelagem do balanço hídrico do solo é importante para o entendimento do efeito do clima sobre o comportamento hidrológico de áreas cultivadas. O balanço hídrico na escala de perfil de solo requer conhecimento das propriedades hidráulicas do solo, parâmetros relacionados à cultura e da demanda de evapotranspiração da atmosfera. Os modelos hidrológicos de base física, como o modelo SWAP (KROES, et al., 2017), são capazes de simular

todos os componentes do balanço hídrico: transpiração, evaporação, interceptação, escoamento superficial, percolação profunda e armazenamento de água no solo. Uma das variáveis de entrada mais importante para esses modelos hidrológicos é a demanda de evapotranspiração (ET). Como a ET é raramente medida, é comum usar equações empíricas ou semi empíricas para se estimar os valores diários de ET.

A evapotranspiração de referência (ETo) e a evapotranspiração da cultura (ETc) podem ser calculadas de forma direta através de lisimetria, porém, dada a complexidade metodológica, dificilmente se consegue uma série de dados medidos consistentes no tempo representativos de uma região. Entretanto, há vários métodos que permitem a estimativa da ETo de forma indireta, como o uso de tanques do tipo Classe A e equações empíricas usando como dados de entrada a temperatura do ar e a radiação solar (ARAÚJO, et al., 2007).

O método padrão FAO é o método de Penman-Monteith (ALLEN, et al., 1998), porém, dada a necessidade de diversas variáveis meteorológicas como temperatura do ar, déficit de pressão de vapor, saldo de radiação, fluxo de calor no solo e velocidade do vento, nem sempre é possível utilizar esse método padrão devido à ausência das variáveis demandadas. Isso muitas vezes serve como justificativa para o uso de métodos que demandam menor entrada de dados, porém, menos robustos. Os métodos totalmente empíricos são muitas vezes testados de forma direta com o método de Penman-Monteith, mas não há registros de comparação do efeito desses diversos métodos sobre balanço hídrico do solo. Portanto, este trabalho objetiva avaliar o impacto da ETo estimada por diferentes métodos sobre os componentes do balanço hídrico do solo simulados por um modelo mecanístico, o modelo SWAP (KROES, et al., 2017).

MÉTODO E MATERIAIS

Área de estudo

Foram selecionadas para estimativa da ETo e realização das simulações hidrológicas três estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), instaladas em Araguaína/TO, Barreiras/BA e Manaus/AM (Tabela 1). A escolha dessas regiões se deu visando abranger regiões de importância agrícola, condições edafoclimáticas diferentes e que apresentem dados suficientes para o cálculo da ETo por pelo menos um ano, sem falhas, a fim de permitir as simulações hidrológicas.

Tabela 1 - Localização geográfica, estação do INMET e altitude dos locais de coleta dos dados meteorológicos.

Cidade	Estação	Coordenadas geográficas	Altitude (m)
Araguaína - TO	A021	-7,1042°; -48,2011°	226
Barreiras - BA	A402	-12,15°; -45,0167°	470
Manaus - AM	A101	-3,1033°; -60,0164	61

Fonte: INMET (2024).

A região que compreende o município de Araguaína, estado do Tocantins, apresenta segundo classificação climática de Koppen clima do tipo Aw (tropical úmido), com temperatura média histórica anual de 25,4 °C e precipitação média anual de 1819 mm, sendo fevereiro e março os meses mais chuvosos. O município de Barreiras no estado da Bahia, possui clima também do tipo A, com temperatura média anual em torno de 25,2 °C e precipitação média anual de 976 mm, sendo dezembro e janeiro os meses mais chuvosos. O município de Manaus, Amazonas, apresenta clima do tipo Afs (clima de selva tropical), temperatura média anual de 27 °C e precipitação média anual de 2301 mm, com os meses de março e abril como mais chuvosos.

Simulações agro-hidrológicas

Parâmetros hidráulicos do solo

As simulações com o modelo SWAP exigem um conjunto de parâmetros referentes às propriedades hidráulicas do solo. Parâmetros estes que descrevem a capacidade de retenção de água no solo e a condutividade hidráulica, ou seja, as variáveis que controlam os fluxos de água no solo. De acordo com o proposto, adotaram-se as equações analíticas de Van Genuchten (1980) e Mualem (1976) para a descrição das propriedades de retenção e condutividade hidráulica (equações 1 e 2, respectivamente).

$$Q = \theta - \theta_r = \frac{1}{1 + \alpha h^n} \quad (1)$$

$$K = K_s \left[1 - \frac{Q - \theta_r}{1 - \theta_r} \right]^{1/n} \quad (2)$$

Onde: $\theta = (\theta - \theta_r)/(\theta_s - \theta_r)$ é a saturação efetiva; θ_r é o teor de água residual ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); θ_s é o teor de água na saturação ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); K é o condutividade hidráulica não saturada (cm h^{-1}); K_s é a condutividade hidráulica saturada (cm h^{-1}) e α (cm^{-1}), n (-) e l (-) são parâmetros empíricos. O parâmetro l foi adotado igual a 0,5 conforme sugerido por (MUALEM, 1976).

Os parâmetros das equações (1) e (2), exceto o parâmetro l , foram obtidos a partir de uma função de pedotransferência desenvolvida para solos do Cerrado (MEDRADO; LIMA, 2014). Os dados necessários para aplicação dessa função de pedotransferência são: teores de argila, areia, silte, matéria orgânica e densidade do solo. A granulometria do solo, assim como os teores de matéria orgânica e densidade das camadas do perfil de solo foram extraídas diretamente do SoilGrids (<https://soilgrids.org/>), que consiste em um banco de

dados com perfis de solo de diversas partes do globo (HENGL, et al., 2017).

Neste trabalho considerou-se um perfil de solo de 60 cm de espessura dividido em três camadas com espessuras de 0-15 cm, 15-30 cm e 30-60 cm, respectivamente, com drenagem livre na base do perfil. Para cada camada foram obtidas as informações requeridas pela função de pedotransferência, sendo convertidas nos parâmetros hidráulicos requeridos pelas equações (1 e 2) de cada camada de solo. A profundidade do perfil de solo foi definida em função da cultura, que para esta pesquisa foi uma gramínea/pastagem com sistema radicular distribuído nos primeiros 40 cm de solo.

As coordenadas usadas para a extração das informações necessárias para a função de pedotransferência foi a mesma usada para a extração dos dados meteorológicos, ou seja, as coordenadas das estações meteorológicas do INMET. Os resultados dos parâmetros hidráulicos gerados na função pedotransferência são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros das equações analíticas de Mualem (1976) e Van Genuchten (1980) que descrevem as propriedades hidráulicas do solo nos locais de estudo.

	θ_r	θ_s	α	n	K_{sat}	l
Camada (cm)	Araguaína/TO					
	cm^3		cm	-	cm	-
	cm^{-3}		-1		d^{-1}	

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO
DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

0-15	0,17	0,4	0,0	1,31	53,76	0,500
	9	43	53	9		
15-30	0,18	0,4	0,0	1,31	52,5	0,500
	5	46	54	2	8	
30-60	0,18	0,4	0,0	1,25	32,21	0,500
	7	23	55	0		
Barreiras/BA						
0-15	0,17	0,4	0,0	1,31	53,76	0,500
	9	44	53	9		
15-30	0,15	0,4	0,0	1,35	70,14	0,500
	7	43	51	8		
30-60	0,16	0,4	0,0	1,32	57,89	0,500
	0	34	53	2		
Manaus/AM						
0-15	0,19	0,4	0,0	1,37	82,3	0,500
	3	90	57	4	2	
15-30	0,18	0,4	0,0	1,27	44,4	0,500
	5	44	57	5	5	
30-60	0,18	0,3	0,0	1,17	14,50	0,500
	9	93	59	0		

Dados climáticos

O modelo SWAP precisa de dados meteorológicos diários (precipitação, temperatura máxima e mínima do ar, radiação solar, umidade relativa, velocidade do vento e evapotranspiração de referência) para as simulações de demanda hídrica e de crescimento da cultura. O SWAP permite que os valores de ETo diários sejam calculados automaticamente pelo modelo usando o método FAO (padrão do modelo) ou através de outros métodos, nesse último casos o usuário já fornece os valores de ETo.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Com o disposto acima, o cálculo da ETo foi realizado pelo método padrão de Penman- Monteith (FAO-56) e por equações empíricas baseadas na temperatura do ar e na radiação solar, apresentadas no Quadro 01.

Quadro 01 - Métodos e equações para estimativa da evapotranspiração de referência (ETo) adotadas nesta pesquisa.

Método	Equação
Penman-Monteith-FAO56 (ALLEN, et al., 1998)	$ETo = \frac{0,408 s (R_n - G) + \gamma \frac{900}{u + 3,5} U_2 (e_s - e_a)}{s + \gamma (1 + 0,34 U_2)}$
Hargreaves-Original (HARGREAVES, 1974)	$ETo = 0,0135 \frac{R_G}{\lambda} (t + 17,8)$
Hargreaves-Samani (HARGREAVES; SAMANI, 1985)	$ETo = 0,0023 R_0 \text{ mm/dia } (t_{max} - t_{min})^{0,5} (t + 17,8)$
McCloud (JACOBS; SATTI, 2001)	$ETo = 0,254 * 1,07^{(1,8 t)}$
Radiação-Temperatura (OUDIN, et al., 2005)	$ETo = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{R_G t_{max}}{56} \right)$
Stephens-Stewart (WINTER, et al., 1995)	$ETo = 0,4047 R_G [(0,01476 t) + 0,0724]$
Thornthwaite (THORNTHWAITE, 1948)	$ETo = \frac{16}{30} \left(10 \frac{t_i}{I} \right)^a \frac{N}{12}$
Turc (TURC, 1961)	$ETo = a \frac{0,013 R_G}{t + 15} \left(\frac{0,023884}{\lambda} \right)$

ETo = evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹); s = declividade da curva de pressão (kPa °C⁻¹); RN = saldo de radiação (MJ m⁻² dia⁻¹); G = fluxo de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹); γ = constante psicrométrica (kPa °C⁻¹); t = temperatura média (°C); U2 = velocidade do vento (m s⁻¹) a 2 m de altura; es = pressão de saturação de vapor (kPa); ea = pressão atual de vapor (kPa); ; RG = radiação global (MJ m⁻² dia⁻¹); λ = calor latente de vaporização (MJ kg⁻¹); R0 mm/dia = radiação extraterrestre (mm dia⁻¹); tmax = temperatura máxima (°C); tmin = temperatura mínima (°C); ti = temperatura mensal (°C); N = fotoperíodo (h); a = constante do local (adimensional); I = índice térmico anual (adimensional) e at = fator de umidade relativa (adimensional).

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Fonte: Adaptado CUNHA et al., 2013.

Todas as simulações realizadas pelo modelo SWAP foram implementadas com dados do ano de 2016, uma vez que as estações consultadas não apresentaram falhas para este ano em particular. Os dados meteorológicos foram obtidos em escala diária das estações automáticas do Banco de Dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>), que disponibiliza dados de clima e de tempo de diversas estações instaladas em várias localidades do Brasil. Para estimativa com o modelo de Thornthwaite (THORNTHWAITE, 1948) se faz necessário dados da normal climatológica de cada região, sendo assim, foram utilizadas as normais climatológicas mais recentes disponibilizadas pelo INMET: Araguaína/TO (Normal climatológica: 1991-2020); Barreiras/BA (Normal climatológica: 1981-2010) e Manaus/AM (Normal climatológica: 1991-2020). O Quadro 2 apresenta resumidamente as variáveis meteorológicas necessárias para os métodos alternativos ao da FAO utilizados nesta pesquisa.

Quadro 02 - Métodos alternativos para estimativa de ETo e dados meteorológicos exigidos.

Método	Dados meteorológicos
Hargreaves - Original (HARGREAVES, 1974)	Radiação global e temperatura média.
Hargreaves Samani (HARGREAVES; SAMANI, 1985)	Radiação extraterrestre, temperatura máxima e mínima.
McCloud (JACOBS; SATTI, 2001)	Temperatura média.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Radiação-Temperatura (OUDIN, et al., 2005)	Radiação global e temperatura máxima.
Stephens - Stewart (WINTER et al., 1995)	Radiação global e temperatura média.
Thornthwaite (THORNTHWAITE, 1948)	Temperatura mensal climatológica e fotoperíodo.
Turc (TURC, 1961)	Radiação global e temperatura média e umidade relativa.

Foram simulados os componentes do balanço hídrico a partir da evapotranspiração de referência (ET_o) calculada por 8 métodos diferentes, tomando como padrão de comparação o método FAO 56.

DADOS E DISCUSSÃO

A partir das estimativas de ET_o pelos diferentes métodos para as três estações do INMET (Araguaína/TO, Barreiras/BA e Manaus/AM), observou-se diferenças consideráveis nos valores anuais em relação ao método padrão da FAO 56 (Tabela 3).

Tabela 3 – Dados de ET_o total anual para o ano de 2016 estimados por diferentes métodos. Os valores entre parênteses indicam o desvio em relação à estimativa da FAO 56.

Método	Araguaína	Barreiras	Manaus
	ET _o (mm /ano) - 2016		
FAO56	1340,46	1646,3	1366,9

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO
DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Hargreaves - Samani	624,6 (-53,4%)	654,8 (-60,2%)	577,9 (-57,7%)
Hargreaves Original	1623,1 (+21,1%)	1878,5 (+14,1%)	1492,6 (+9,2%)
McCloud	2182,9 (+62,8%)	2363,8 (+43,6%)	2933,0 (+114,6%)
Radiação-Temperatura	1314,7 (-1,9%)	1533,6 (-6,8%)	1238,8 (-9,4%)
Stephens - Stewart	1245,1 (-7,1%)	1444,8 (-12,2%)	1167,5 (-14,6%)
Thornthwaite	1437,2 (+7,2%)	1405,7 (-14,6%)	1763,0 (+29%)
Turc	1010,8 (-24,6%)	1174,0 (-28,7%)	914,6 (-33,1%)

Em relação aos totais anuais, observa-se a que para a estação de Araguaína/TO o método de Radiação e Temperatura (OUDIN, et al., 2005) foi o que mais se aproximou da ETo calculada pelo método padrão da FAO 56, subestimando a ETo em 1,9% apenas. Para Barreiras/BA, o método que mais se aproximou da FAO 56 foi também o método de Radiação e Temperatura (OUDIN, et al., 2005), subestimando a ETo em 6,8%. Para a estação de Manaus/AM, o método de Hargreaves Original (HARGREAVES, 1974) foi o que melhor reproduziu a estimativa da FAO 56, superestimando a ETo em 9,2%, seguido do método Radiação e Temperatura que subestimou a ETo em 9,4%.

Na Tabela 3 também é possível observar que os métodos com piores desempenhos foram de Hargreaves-Samani (HARGREAVES; SAMANI, 1985) que subestimou consideravelmente os valores de ETo em até 60% e o de McCloud (JACOBS; SATTI, 2001) que superestimou os valores de ETo em até 115%. Embora o método de Thornthwaite não tenha apresentado desvios muito elevados, este método é recomendado apenas para estimativas de ETo na escala mensal.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

A partir dos valores diários de ETo calculados pelos diferentes métodos e estações do INMET foram realizadas as simulações hidrológicas dos componentes do balanço hídrico (transpiração atual, evaporação atual e drenagem profunda) pelo modelo SWAP, Tabela 4.

Tabela 4 – Componentes do balanço hídrico (drenagem profunda, transpiração e evaporação) simulados pelo modelo SWAP tendo como fonte de variação o método de estimativa da evapotranspiração de referência (ETo).

Método		Precip itação	Drenagem profunda	Transpira ção	Evapora ção
		mm/ano -----			
		Araguaína/TO			
FAO56		1540,2	518,5	738,5	168,0
Hargreaves	-	1540,2	953,0(+83,8 %)	358,8(-51,4 %)	79,3(-52,8 %)
Samani					
Hargreaves	-	1540,2	477,3(-79%)	792,2(+7,3 %)	159,5(-5,1 %)
Original					
McCloud		1540,2	300,8(-42%)	940,1(+27,3 %)	205,4(+22 ,3%)
Radiação	e	1540,2	574,9(+10,9%)	694,5(-6%)	141,8(-15,6 %)
Temperatura					
Stephens	-	1540,2	600,2(+15,8%)	669,0(-9,4%)	137,4(-18,2 %)
Stewart					
Thornthwaite		1540,2	477,1(-8%)	786,4(+6,5 %)	170,4(+1,4 %)
Turc		1540,2	715,8(+38,1%)	559,8(-24,2 %)	119,1(-29,1 %)
Barreiros/BA					
FAO56		996,2	466,3	413,1	72,7
Hargreaves	-	996,2	618,5(+32,6%)	255,5(-38,2 %)	49,9(-31,4 %)
Samani					

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO
DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Hargreaves	-	996,2	443,2(-5%)	435,8(+5,5	75,6(+4%)
Original				%)	
McCloud		996,2	382,5(-18%)	489,8(+18,6	92,3(+27
				%)	%)
Radiação	e	996,2	483,3(+3,6%)	398,1(-3,6%	69,4(-4,5
Temperatura)	%)
Stephens	-	996,2	491,3(+5,4%)	389,9(-5,6%	68,5(-5,8
Stewart)	%)
Thornthwaite		996,2	431,7(-7,4%)	433,1(+4,8	83,9(+15,4
				%)	%)
Turc		996,2	528,7(+13,4	350,8(-15,1	64,2(-11,7
			%)	%)	%)
Manaus/AM					
FAO56		2044,6	779,4	888,2	191,5
Hargreaves	-	2044,6	1384,4(+77,6	386,6(-56,5	88,0(-54%
Samani			%)	%))
Hargreaves	-	2044,6	734,6(-5,7%)	924,0(+4%)	200,4(+4,
Original					6%)
McCloud		2044,6	377,5(-51,6%)	1198,8(+35	289,8(+51,
				%)	3%)
Radiação	e	2044,6	847,4(+8,7%)	833,2(-6,2	178,4(-6,8
Temperatura				%)	%)
Stephens	-	2044,6	884,8(+13,5	800,9(-9,8%	173,3(-9,5
Stewart			%))	%)
Thornthwaite		2044,6	590,4(-24,2	1027,3(+15,7	243,3(+27
			%)	%)	%)
Turc		2044,6	1071,0(+37,4	643,4(-27,6	144,5(-24,
			%)	%)	5%)

De acordo com os resultados da Tabela 4, observa-se que alguns dos métodos de estimativa da ETo tendem a superestimar os componentes do balanço hídrico, enquanto outros tendem a subestimar. Percebe-se

que a subestimativa ou superestimativa de um dos componentes do balanço hídrico impacta todos os demais componentes.

O método que apresentou estimativas da transpiração real e evaporação real mais próximo do método do FAO 56 para a estação A021 (Araguaína) foi o de Thornthwaite (THORNTHWAITE, 1948), superestimando seus valores em 6,5% e 1,4%, respectivamente (Tabela 4). Em seguida vem o método de Hargreaves-Original (HARGREAVES, 1974) com erros abaixo dos 10%. Para o componente drenagem profunda, o método de Hargreaves-Original apresentou o menor erro, superestimando a saída do SWAP em 7,9%.

Para a estação A402 localizada em Barreiras/BA o método de Radiação e Temperatura (OUDIN, et al., 2005) foi o que entregou estimativas de transpiração real e evaporação real mais próximas do método FAO56, subestimando os valores em 3,6% e 4,5%, respectivamente. Em sequência o método de Hargreaves-Original com erro em torno de 5%. Para o parâmetro drenagem profunda, o método de Radiação e Temperatura apresentou melhores resultados, superestimando em 3,6 %.

Nas simulações para Manaus/AM, a transpiração real e evaporação real simulada pelo SWAP, o método de Hargreaves-Original apresentou desempenho melhor, assim valores mais próximos do método FAO 56, superestimando os resultados em 4% e 4,6%, para os componentes citados. Em segundo lugar se destaca o método de Radiação e Temperatura, com subestimativa em torno de 6- 7%. Para drenagem profunda o método de Hargreaves-Original gerou menor erro em relação aos demais, subestimando em 5,7%.

Em geral as simulações com ETo estimadas por Hargreaves-Samani (HARGREAVES; SAMANI, 1985) e Turc (TURC, 1961) superestimaram os valores de drenagem profunda, subestimando a

transpiração e evaporação. Para os métodos de McCloud (JACOBS; SATTI, 2001) e Thornthwaite (THORNTHWAITE, 1948) - exceto em Araguaína, ocorreu uma subestimativa da drenagem profunda e superestimativa dos demais componentes do balanço hídrico.

A superestimativa da variável de saída do modelo SWAP drenagem profunda, induz em uma superestimativa da recarga de aquíferos, bem como a subestimativa de evaporação e transpiração subestima a exigência hídrica de uma cultura, e o inverso também é verdadeiro.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através deste trabalho constatou-se que os parâmetros do balanço hídrico simulados pelo modelo SWAP são influenciados pelos valores de evapotranspiração de referência. Os métodos em que a ETo mais se aproximou do modelo FAO apresentaram igualmente melhores desempenhos nas simulações do balanço de balanço hídrico.

A partir dos resultados dessa pesquisa, observa-se que para uma estimativa mais correta dos componentes do balanço hídrico e demanda hídrica de cultivos, a ETo calculada como variável de entrada dos modelos hidrológicos deve ser estimada por métodos que incluam as variáveis de temperatura do ar e radiação solar global. Desse modo, na ausência de informações que inviabilizam a aplicação do método FAO 56, pode-se adotar os métodos de Hargreaves-Original (HARGREAVES, 1974) e Radiação e Temperatura (OUDIN, et al., 2005), exigindo apenas valores de temperatura do ar e radiação solar global na escala diária, respectivamente.

Portanto, é interessante que além do sensor de temperatura, as propriedades rurais que desejem estimar a ETo com mais precisão

também precisam investir na aquisição de um piranômetro para a medição da radiação global. Embora o método de Thornthwaite (THORNTHWAITE, 1948) tenha apresentado semelhança na escala anual com o método FAO 56, para aplicações que exigem informações de ETo na escala diária este método não é adequado, visto que foi originalmente concebido para a escala mensal.

Recomenda-se novos estudos com repetições para anos diferentes dentro de um mesmo local, a fim de permitir uma comparação estatística multianual.

REFERÊNCIAS

ALLEN, Richard G. et al. *Documento de Irrigação e Drenagem da FAO No. 56*. Roma: Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação. v. 56, n. 97, 1998, 281 p.

ARAÚJO, Wellington Farias; COSTA, Sônia Aparecida Antunes; DOS SANTOS, Antônia Edilene. COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ETO) PARA. *Revista Caatinga*, v. 20, n. 4, p. 84-88, 2007. Disponível em: <<https://www.redalyc.org/pdf/2371/237117664013.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2023.

BRITO, T. T. et al. Avanços e inovações tecnológicas no monitoramento agrometeorológico: Sistema Agro Connect. *Incapar em Revista*, Vitória, v.9, p. 90-96, jan/dez 2018. Disponível em: <http://biblioteca.incapar.es.gov.br/digital/handle/123456789/3370>. Acesso em: 30 dez. 2023.

CUNHA, F. F. DA; MAGALHÃES, F. F.; CASTRO, M. A. DE. MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA PARA CHAPADÃO DO SUL - MS. REVISTA ENGENHARIA NA AGRICULTURA - REVENG, Viçosa/MG, v. 21, n. 2, p. 159-172, 2013.

HARGREAVES, G.H. Estimation of potential and crop evapotranspiration. Transactions of the ASAE, Saint Joseph, v.17, n.1, p.701-704, 1974.

HARGREAVES, G.L.; SAMANI, Z.A. Reference crop evapotranspiration from temperature. Basin. Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE, New York, v.111, n.1, p.113-124. 1985.

HENGL, T. *et al.* SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning. PloS one, v. 12, n. 2, p. e0169748, 2017.

JACOBS, J.M.; SATTI, S.R. Evaluation of reference evapotranspiration methodologies and AFSIRS crop water use simulation model (Final Report). Gainesville: Department of Civil and Coastal Engineering, University of Florida, 2001. 114p.

KROES, J.G. *et al.* SWAP version 4: Theory and description of user manual. Wageningen: Wageningen Environmental Research, 2017. 243p. Disponível em: <<https://doi.org/10.18174/416321>>. Acesso em: 25 de abril 2024.

MEDRADO, E.; LIMA, J. E. F. W. Development of pedotransfer functions for estimating water retention curve for tropical soils of the Brazilian savanna. Geoderma Regional, v. 1, p. 59-66, 2014.

MENDONÇA, José C. *et al.* Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) na região Norte Fluminense,

RJ. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 7, n.2, p. 275-279, ago. 2003. Disponível em: [https://doi.org/10,1590/S1415-43662003000200015](https://doi.org/10.1590/S1415-43662003000200015). Acesso em: 10 out. 2023.

MONTEIRO, J. E. B. A. *Agrometeorologia dos Cultivos, o fator meteorológico na produção agrícola*. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Brasília, DF, 1ª edição, 2009. 530 p.

MUALEM, Y. A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media. *Water Resour. Res.* V. 12, p. 513-522, 1976.

LOUDIN, L.; MICHEL, C.; ANCTIL, F. Which potential evapotranspiration input for a lumped rainfall-runoff model?: Part 1—Can rainfall runoff models effectively handle detailed potential evapotranspiration inputs? *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v.303, n.1-4, p.290-306, 2005.

ROBERTO, A. *et al.* LCE 306 (Edição Revista e Ampliada). [s.l: s.n.]. Disponível em: http://www.leb.esalq.usp.br/leb/aulas/lce306/MeteorAgricola_Apostila2007.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2024.

SIMÕES, D. *et al.* Documentos 263 Evapotranspiração -Uma Revisão sobre os Métodos Empíricos Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Arroz e Feijão Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/29024/1/doc263.pdf>>. Acesso em: 7 mar. 2024.

TAIZ, Lincoln *et al.* *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6 ed. Artmed Editora, 2017. 811 p.

TURC, L. Evaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle, formule simplifiée et mise à jour. *Annals of Agronomy*, v.12, n.1, p.13-49, 1961.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America journal*, v. 44, n. 5, p. 892-898, 1980.

WINTER, T.C.; ROSENBERRY, D.O.; STURROCK, A.M. Evaluation of 11 equations for determining evapotranspiration for a small lake in the north central United States. *Water Resources Research*, v.31, n.4, p.983-993, 1995.

FINANCIAMENTO

“O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil”.

Capítulo 3

AVALIAÇÃO DO CONTROLE DA BRUSONE DO ARROZ POR MEIO DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE PLANTAS E DA RESISTÊNCIA DE GENÓTIPOS, EM FORMOSO DO ARAGUAIA, TOCANTINS

João Victor de Almeida Oliveira¹

Gil Rodrigues dos Santos²

RESUMO

O arroz, mundialmente, constitui-se o alimento básico de consumo em todos os continentes. No cenário Brasileiro o estado do Tocantins se destaca como 3º maior produtor do cereal, com predominância de plantio nas regiões de várzea, localizadas no sudeste do estado. A brusone é a doença mais importante da cultura com perdas que resultam em redução da produtividade em até 100% e, para o manejo da patologia o componente mais importante é a resistência genética. Em decorrência das dificuldades no controle de patógenos em plantas, faz-se necessário a bioprospecção de moléculas bioativas que apresentem atividade antimicrobiana e protetora de plantas. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi verificar os efeitos do uso do óleo essencial de *Myrcia sp.* na redução do progresso da Brusone em genótipos de arroz irrigado em avançado Valor de Cultivo e Uso (VCU). A pesquisa foi desenvolvida em duas etapas, sendo a primeira realizada no município de Formoso do Araguaia com 20 genótipos e 4 repetições, delineada em blocos casualizados. A segunda etapa foi conduzida na estação experimental da Universidade Federal do Tocantins com 6 genótipos e 4 repetições dispostas em delineamento inteiramente casualizado. O óleo essencial de *Myrcia sp.*, nos ensaios *in vitro*, apresentou efeito fungistático nas concentrações abaixo de 1% e inibiu em 100% o crescimento micelial nas concentrações acima de 2,5%. Nos ensaios do controle preventivo e curativo *in vivo*, o óleo essencial apresentou redução no progresso da Brusone para os genótipos avaliados. Entretanto, a efetividade no controle da Brusone ocorreu com a aplicação preventiva do óleo.

Palavras-chave: Brusone; *P. grisea*; resistência; óleo essencial.

¹ Graduando em Agronomia, Pibic/CNPq, Universidade Federal do Tocantins, oliveira.victor@mail.uft.edu.br

² Doutor em Fitopatologia, curso de Agronomia, Universidade Federal do Tocantins, gilrsan@uft.edu.br

INTRODUÇÃO

Mundialmente o arroz (*Oryza sativa* L.) é de grande importância, pois é cultivado e consumido em todos os continentes. O Brasil situa-se em 9º lugar em produção, com predominância do sistema irrigado, que corresponde a aproximadamente 90,3% do total nacional (CONAB, 2022). O Tocantins é o terceiro maior produtor de arroz irrigado do Brasil, com plantio concentrado na região sudeste do Estado, em áreas de várzea (FRAGOSO et al., 2019).

A brusone causada por *Magnaporthe oryzae* (Hebert) Barr, anamorfo *Pyricularia grisea* (Cooke) Sacc é a principal doença do arroz (*Oryza sativa* L.) e tem sido um obstáculo para a produção no mundo (PRABHU e FILIPPI, 2006). A doença pode ocorrer em todos os órgãos e fases de desenvolvimento da cultura, sendo considerada a doença mais importante para a rizicultura mundial, com perdas que resultam em redução da produtividade em até 100% (GONÇALVES et. al. 2012). Estes danos são decorrentes principalmente da morte das plantas, diminuição do peso dos grãos e, em alguns casos, da esterilização completa das panículas.

O controle sustentável das doenças requer um manejo integrando resistência genética, tratos culturais, controle químico e biológico, os quais, separadamente, não são eficientes, mas quando adotados em conjunto aumentam a probabilidade de controle, sem prejudicar a rentabilidade e o ambiente (SILVA-LOBO, et al., 2020).

O componente mais importante do manejo integrado da Brusone é a resistência genética, porém visando a proteção do potencial produtivo de cada cultivar, deve-se sempre combinar com os demais integrantes do manejo (SILVA-LOBO, et al., 2020). A busca por genótipos resistentes e mais produtivos que os atuais se justifica como um

trabalho contínuo, considerando a grande variação na agressividade e virulência dos principais fitopatógenos.

Em decorrência das dificuldades no controle de fitopatógenos em plantas, aumentou-se a bioprospecção de moléculas bioativas que apresentem atividade antimicrobiana e protetora de plantas. Nesse sentido, os óleos essenciais, além de apresentar atividade antimicrobiana e protetiva, também possuem uma riqueza de metabólitos secundários, como flavonóides, terpenos, benzenóides, entre outros compostos, que podem atuar na interação patógeno-hospedeiro (MARQUES, 2014). A biodiversidade do cerrado aliada a fatores climáticos, favorece a existência de uma rica microbiota, encontrada nas partes dos vegetais, como folhas, caule, raízes e frutos (RIBEIRO & WALTER, 2008).

Devido aos aspectos abordados, verifica-se que o controle por meio de genótipos resistentes e de compostos orgânicos presentes em óleos essenciais são tecnologias importantes que precisam ser mais estudadas visando o fortalecimento da produção sustentável de arroz no Brasil e no mundo.

MÉTODO E MATERIAIS

A pesquisa foi desenvolvida em duas etapas, sendo a primeira realizada no município de Formoso do Araguaia, com ensaios de campo compreendendo a identificação de genótipos de arroz em avançado valor de cultivo e uso (VCU) com resistência e suscetibilidade à Brusone. O experimento em campo (Figura 1A), foi delineado em blocos casualizados (DBC) com 20 genótipos e 4 repetições. Em uma segunda etapa, os ensaios foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado (DIC) na estação experimental da Universidade Federal do Tocantins, Campus Gurupi- TO, e consistiu na análise do progresso da doença em condições controladas. Também,

foram realizados testes de controle alternativo utilizando *Myrcia sp.* com o objetivo de reduzir os danos provocados pela infecção por *P. grisea*.



Figura 1- Disposição do experimento de campo no Município de Formoso do Araguaia - TO.

Ainda, em campo, houve a identificação e coleta do material vegetal com lesões características provocadas pelo fungo *P. grisea*, tanto nos estádios vegetativo e reprodutivo da cultura do arroz (Figura 2). Posteriormente, as amostras coletadas, em Formoso do Araguaia, foram identificadas e o patógeno isolado em meio de cultura do tipo BDA convencional para compor o acervo da micoteca do Laboratório de Fitopatologia da Universidade Federal do Tocantins.



Figura 2. Sintomas de Brusone foliar (A), Brusone das panículas (B), Conídios de *P. grisea* (C) e Crescimento Micelial de *P. grisea* em BDA (D).

Dos 20 genótipos avaliados, foram selecionados três que apresentaram resistência à Brusone e três com susceptibilidade à doença, de acordo com a escala de notas, com graus variando de 0 a 9 (Silva *et. al.* 2022). Para avaliar a severidade da doença, foram realizadas cinco avaliações semanais nos estádios vegetativo e reprodutivo da cultura do arroz. Em condições controladas, as avaliações iniciaram dois dias após a retirada das plantas da câmara

úmida, com avaliações a cada 48 horas até a estabilização da progressão da doença. Por meio das avaliações de severidade, foi realizado o cálculo de Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD), de acordo com a seguinte fórmula:

$n-1$

$$AACPD = \sum_{i=1}^{n-1} [(X_i + X_{i+1})] \cdot \frac{(T_{i+1} - T_i)}{2}$$

Para a interpretação da AACPD, “n” se refere ao número de avaliações, “x” é a severidade da doença e “t” ($T_{i+1} - T_i$) é o intervalo de tempo entre duas avaliações consecutivas. Aos 40 dias após a semeadura (DAS) foi inoculado o fungo *P. grisea*, utilizando câmara de Neubauer, com a concentração de 1×10^4 conídios/mL, para cada vaso, em seguida, as plantas foram mantidas em câmara úmida por 48 horas sob temperatura de ± 27 graus e umidade relativa do ar acima de 0%.

Para compor o manejo da Brusone, foi realizada a extração do óleo essencial de *Myrcia sp.* por meio do processo de hidrodestilação, utilizando aparelho do tipo Clevenger acoplado ao condensador refrigerado por mangueiras que permitem a passagem de água de forma contínua, conforme descrito na metodologia de Guimarães et. al., (2008). Nesse sentido, para obtenção do óleo essencial, foram coletadas folhas da espécie supracitada que, após lavadas e trituradas em partículas de aproximadamente 1 cm^3 foram adicionadas em balão volumétrico de fundo redondo com cerca de 500 g de material vegetal e 1 L de água destilada. A mistura foi submetida a aquecimento por 2 horas em manta aquecedora ligados ao hidrodestilador e após a finalização do processo de extração, o óleo essencial foi coletado na forma sobrenadante, identificado e armazenado em frasco âmbar a 4°C .

Em sequência, foi realizado a montagem do ensaio de controle *in vitro* de *P. grisea* utilizando 5 concentrações de óleo essencial (*Myrcia sp.*) e 3 repetições, além do controle positivo com fungicida

(Triciclazol + Tebuconazol na concentração de 20 mg/L) e o controle negativo (água), dispostos de forma inteiramente casualizada (DIC). Ainda, para verificar o efeito inibitório sobre o crescimento micelial do fungo, foram distribuídos 200 µL de cada concentração sob a superfície do meio de cultura em placas de petri (diâmetro: 80 mm) com auxílio de alça tipo Drigalsky, sendo, em seguida, adicionado o disco micélio-água de 6 mm de diâmetro, no centro das placas, contendo o isolado de *P. grisea* em estudo desta pesquisa. Por meio das avaliações realizadas, foi calculada a Inibição do Crescimento Micelial (ICM) e o Índice de Velocidade de Crescimento Micelial (IVCM) pelas equações propostas por Gomes (2002) e Bastos (1997).

Os resultados de redução do crescimento micelial obtidos por meio do teste de controle *in vitro* foram utilizados para a realização do teste de fitotoxicidade nos genótipos avaliados. Desse modo, o ensaio de fitotoxidez foi delineado de forma inteiramente casualizada com 6 genótipos e 5 concentrações de óleo essencial (1; 2,5; 5,0; 7,5 e 10 mg/mL) de *Myrcia sp.* que, 24 horas após a aplicação foi avaliada conforme grau de fitotoxidez, adaptada de Cogliatti et. al, (2011).

Para o controle preventivo, foi utilizada 5 mL de solução composta por óleo essencial + tuim + água que fora borrifada previamente sob a superfície foliar das plantas de arroz e, duas horas após a aplicação, ocorreu a inoculação do isolado de *P. grisea* nos genótipos para verificar o efeito protetivo do óleo essencial. O controle curativo seguiu a metodologia supracitada, todavia, deve-se destacar que diferente do controle preventivo, no curativo, a aplicação do óleo essencial só foi realizada após a confirmação da doença nos genótipos inoculados previamente. Os resultados obtidos por meio da escala de notas foram utilizados para cálculo da Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD).

DADOS E DISCUSSÃO

Para seleção dos genótipos para a 2ª etapa do estudo, foi realizada a média entre a AACPD calculada nos estádios vegetativo (Figura 3A) e reprodutivo (Figura 3B) da cultura do arroz. Desse modo, os genótipos que apresentaram as menores médias de AACPD e, portanto, considerados resistentes foram: AB 201096, AB 201109 e BRS A704, por outro lado, as linhagens que apresentaram suscetibilidade à Brusone em condições de campo foram: AB 201170, AB 201020 e AB211007.

O progresso da doença em ambiente controlado (Figura 3C) apresentou similaridade com os dados de campo, merecendo destaque apenas para o genótipo AB 201170 que fora selecionado na etapa anterior como suscetível apresentou menores valores de AACPD quando comparado a cultivar BRS A704 que havia sido selecionada como material resistente a Brusone do arroz (Figura 3C). As variações de resistência entre os materiais ocorrem devido a quantidade de inóculo de infectar a planta em campo, mascarando o potencial de resistência do genótipo.

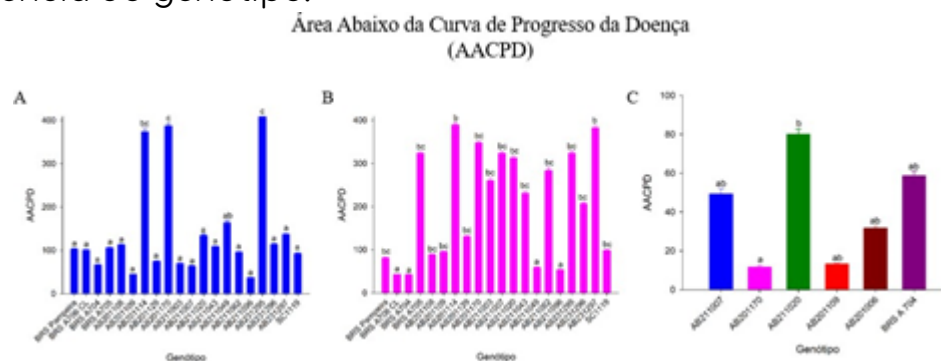


Figura 3. Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença dos genótipos avaliados.

As concentrações testadas do óleo essencial de *Myrcia sp.* demonstraram eficiência no controle do crescimento micelial de *P. grisea*. Nesse sentido, observa-se que na concentração de 1% houve inibição parcial de 76,33% do crescimento micelial (ICM) quando comparada a testemunha (controle negativo com água) demonstrando

a atividade fungistática do óleo essencial em estudo (Figura 5B e 5C). Ainda, para as concentrações superiores a 2,5% de óleo essencial de *Myrcia sp.* percebe-se que houve inibição total do crescimento micelial de *P. grisea*, similar à testemunha positiva contendo fungicida comercial a base de Triciclazol + Tebuconazol que também apresentou atividade fungitóxica sobre o crescimento de *P. grisea* (Figura 5).

Foi observado, também, por Fernandes (2022) que o óleo essencial de *Morinda citrifolia* apresentava eficiência no controle de *Rhizoctonia solani* à medida que aumentava progressivamente a concentração. Esses dados refletem a efetividade da Manejo Integrado de Doenças (MID) para reduzir os níveis populacionais do patógeno no agroecossistema, evidenciando que a associação da resistência genética, controle alternativo e fungicida comercial é uma alternativa de alta eficiência para o manejo da Brusone do arroz.

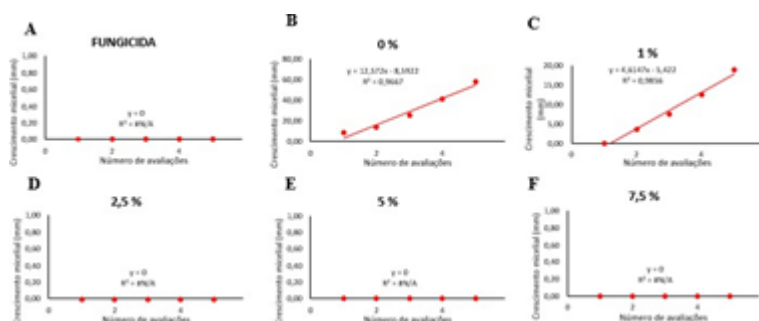


Figura 5. Efeito de concentrações do óleo essencial de *Myrcia sp.* sob o controle *in vitro* de *P. grisea*.

Após a identificação da concentração mais eficiente para inibição do crescimento micelial de *P. grisea*, foi realizado o teste de fitotoxicidade em condições controladas. Nesse sentido, percebe-se que, conforme ilustrado na figura 6, as concentrações acima de 2,5% de óleo essencial de *Myrcia sp.* apresentaram sintomas característicos de fitotoxidez nos genótipos de arroz avaliados nesta pesquisa. Ainda, deve-se destacar que para as concentrações acima de 50 mg/mL, os sintomas de fitotoxidez alcançaram valores superiores a 50% em todos os

genótipos, demonstrando que para a aplicação sob o tecido vegetal, faz-se necessário a utilização de concentrações menores e capazes de controlar de forma eficiente o progresso da Brusone.

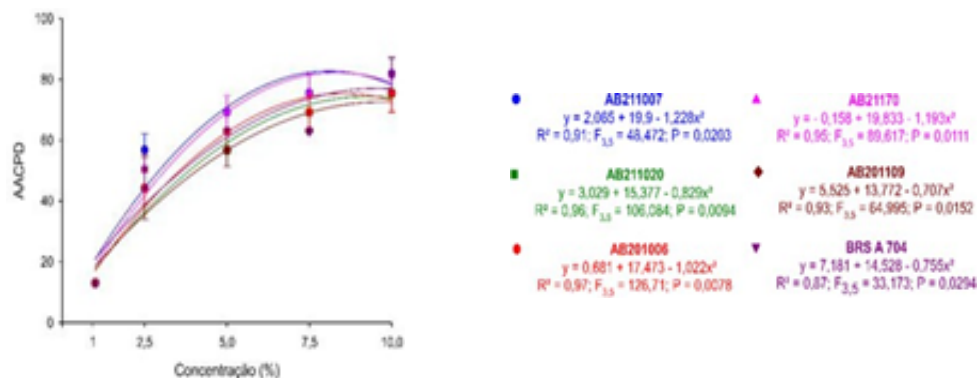


Figura 6. Efeito fitotóxico do óleo essencial de *Myrcia sp.* em genótipos de arroz irrigado.

Em relação ao controle preventivo e curativo da Brusone nos genótipos em estudo, utilizando o óleo essencial de *Myrcia sp.*, pode-se destacar que os resultados para o progresso da doença no controle preventivo apresentaram discrepância significativa quando comparados os tratamentos com óleo essencial e o tratamento controle. É evidente, ainda, que para todos os genótipos avaliados, os efeitos do óleo essencial na redução de lesões características de Brusone foram mais efetivas no controle preventivo quando comparado ao controle curativo, demonstrando, dessa forma, que a eficiência do óleo é maior quando a aplicação ocorre de forma protetiva, ou seja, antes da instalação da doença em campo.

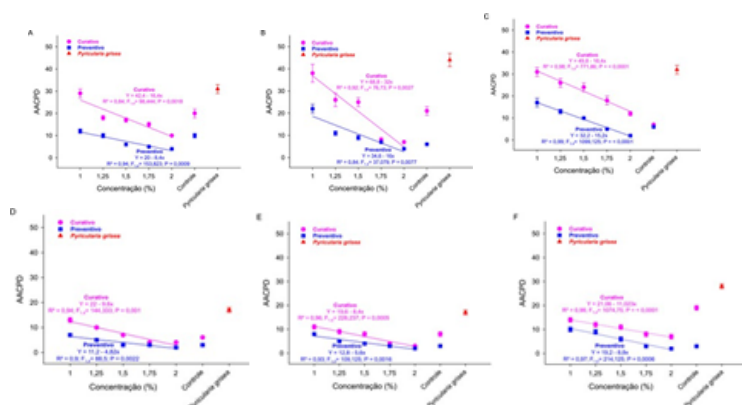


Figura 7. AACPD dos genótipos em relação a concentrações crescentes de óleo essencial de *Myrcia sp.* no controle preventivo e curativo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O óleo essencial de *Myrcia sp.* apresentou eficiência no controle do isolado de *P. grisea* utilizado neste estudo. As concentrações abaixo de 2% no controle preventivo demonstraram redução no progresso da doença nos genótipos avaliados, por outro lado, no que se refere ao controle curativo utilizando o óleo essencial observa-se que também houve eficiência, demonstrando que a utilização do óleo pode estar relacionada a ativação dos sistemas antioxidantes do vegetal, responsáveis por reduzir os efeitos da infecção por estresses tanto bióticos, quanto abióticos.

REFERÊNCIAS

CHEN, J. Identification of rice plant diseases using lightweight attention networks. Expert Systems with Applications, v. 169, p. 114514, 2021.

COGLIATTI, M.; JUAN, V. F.; BONGIORNO, F.; DALLA VALLE, H. ROGERS, W.J. Control of grassy weeds in annual canary grass. Crop Protection, v. 30, n. 2, p. 125-129, 2011.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos - 4º Levantamento. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 25 jan. 2022.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado (Pelotas, RS). Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Documento EMBRAPA/CPACT, n.3, 1993. 87p FRAGOSO, D.

DE B. et al. CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ARROZ IRRIGADO TROPICAL NA REGIÃO SUDOESTE DO ESTADO DO TOCANTINS SAFRA 2018/2019. XI Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado. Anais...Balneário Camboriú: Anais, 2019

GONÇALVES. F, J.; ARAÚJO. L. G.; SILVA. G. B.; FILLIPI.M.C.C. Controle químico da brusone em arroz de terras altas: efeitos nos fungos não alvo do filoplano. - Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, v. 42, n. 1, p. 77-81. 2012.

GUIMARÃES, L.G.L.; CARDOSO, M.G.; ZACARONI, L.M.; LIMA, R.K. Influence of light and temperature on the oxidation of the essential oil of lemongrass (*Cymbopogon Citratus* (D.C.) Stapf). *Química Nova*, v. 31, n.6, p. 1476-1480, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000600037>.

KE, Y.; DENG, H.; WANG, S. Advances in understanding broad-spectrum resistance to pathogens in rice. *The Plant Journal*, v. 90, n. 4, p. 738-748, 2017.

MAIA, F. G. M.; ARMESTO, C.; ZANCAN, W. L. A.; MAIA, J. B.; ABREU, M. S. Efeito da temperatura no crescimento micelial, produção e germinação de conídios de *Colletotrichum* spp. isolados de mangueira com sintomas de antracnose. *Bioscience Journal*, v. 27, n. 2, p. 205-210, 2011.

MARQUES, JACQUELINE SANTOS. Utilização de extratos e óleos vegetais no controle de fitopatógenos. In: MARQUES, JACQUELINE SANTOS. COMPOSTOS ATIVOS DE FOLHAS DE EUGENIA UNIFLORA E SEUS EFEITOS CONTRA MOFO BRANCO CAUSADO POR SCLEROTINIA SCLEROTIORUM EM PLANTAS DE FEIJOEIRO. 2014. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Biológicas ICB, Universidade Federal do Goiás, 2014. p. 96.

PRABHU, A. S.; FILIPPI, M.C. **Brusone em arroz: controle genético, progresso e perspectivas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 387p.

PRABHU, A.S.; FILIPPI, M.C.C.; RIBEIRO, A.S. **Doenças e seu controle**. In: A cultura do arroz no Brasil, 2 ed, EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2006, P.561-631.

RIBEIRO, J. F; WALTER, B. M. T. **As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado**. In.: SANO, S. M; ALMEIDA, S. P; RIBEIRO, J. F. Ecologia e flora. Brasília: EMBRAPA, 2008. v. 1, p. 152-212.

SANTOS, G.R.; CAFÉ-FILHO, A.C. **Reação de genótipos de melancia ao crestamento gomoso do caule melancia**. Horticultura Brasileira, n. 23, p. 945-950, 2005.

SCHEUERMANN, K. K.; NESI, C. N. **Controle químico de brusone e mancha parda na cultura do arroz irrigado**. Summa Phytopathologica, v. 47, n. 3, p. 168-172, 2021

SEIXAS, P. T. L.; CASTRO H.C.; SANTOS, G. R.; CARDOSO D. P.; **Controle fitopatológico do *Fusarium subglutinans* pelo óleo essencial do capim-citronela (*Cymbopogon nardus* L.) e do composto citronelal**. Revista Brasileira de Plantas Medicinais, Botucatu, v.13, especial, p.523-526, 2011.

SILVA-LOBO, V.L; SOUZA, A.C.A; GONÇALVES, F.J.; FILIPPI, M.C.C.; PRABHU, A.S. **Diversificação de cultivares de arroz no manejo sustentável da brusone (*Magnaporthe oryzae*) em várzeas tropicais no estado do Tocantins**. Comunicado Técnico 256, Embrapa, Santo Antônio de Goiás, nov. 2020.

ZHANG, M. **First-principles search for alloying elements that increase corrosion resistance of Mg with second-phase particles of transition**

metal impurities. Computational Materials Science, v. 165, p. 154– 166, 2019.

FINANCIAMENTO

“O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil”

Capítulo 4

AVALIAÇÃO DO CONTROLE DA MANCHA DE GRÃOS DO ARROZ IRRIGADO POR MEIO DE ÓLEOS ESSENCIAIS DE PLANTAS E DA RESISTÊNCIA DE GENÓTIPOS, EM FORMOSO DO ARAGUAIA, TOCANTINS

Joele Andressa Zanfra¹

Gil Rodrigues dos Santos²

RESUMO

O arroz constitui-se como alimento básico de todos os continentes. No Brasil, o estado do Tocantins se destaca como 3º maior produtor do grão, com predominância de plantio nas regiões de várzea, localizadas no sudeste do estado. A Mancha de grãos é uma das principais doenças que acomete a cultura, causando perdas significativas na produção, para o manejo da patologia faz-se necessário adotar o Manejo Integrado de Doenças, sendo a resistência genética o componente de maior importância. Assim sendo, é necessário a bioprospecção de moléculas bioativas que apresentem atividade antimicrobiana e protetora de plantas. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi verificar os efeitos do uso do óleo essencial de *Myrcia sp.* na redução do progresso da doença em genótipos de arroz irrigado em avançado valor de Cultivo e Uso (VCU). A pesquisa foi desenvolvida em duas etapas, sendo a primeira realizada no município de Formoso do Araguaia com 20 genótipos e 4 repetições, delineado em blocos casualizados. A segunda etapa foi conduzida na estação experimental da Universidade Federal do Tocantins com 6 genótipos e 4 repetições dispostas em delineamento inteiramente casualizado. O óleo essencial de *Myrcia sp.*, nos ensaios *in vitro*, apresentou efeito fungistático, inibindo parcialmente o crescimento micelial em todas as concentrações testadas. Nos ensaios do controle preventivo e curativo *in vivo*, o óleo essencial apresentou redução no progresso da Mancha de grãos para os genótipos avaliados, entretanto, é possível observar que a eficiência do óleo é maior quando este é aplicado de modo preventivo.

Palavras-chave: *Oryza sativa*, *Bipolaris oryzae*, controle alternativo, controle genético.

¹ Graduanda em Agronomia, Pibic/UFT, Universidade Federal do Tocantins, joele.zanfra@mail.uft.edu.br

² Doutor em Fitopatologia, curso de Agronomia, Universidade Federal do Tocantins, gilrsan@uft.edu.br

INTRODUÇÃO

Mundialmente o arroz (*Oryza sativa* L.) é de grande importância, pois é cultivado e consumido em todos os continentes. O Brasil situa-se em 9º lugar em produção, com predominância do sistema irrigado, que corresponde a aproximadamente 90,3% do total nacional (CONAB, 2022). O Tocantins é o terceiro maior produtor de arroz irrigado do Brasil, com plantio concentrado na região sudeste do Estado, em áreas de várzea (Fragoso et al., 2019).

Problemas fitossanitários contribuem para uma menor produtividade e redução da qualidade de grãos, e as principais doenças são causadas por fungos (Chen, 2021; Scheuermann e Nesi, 2021). A mancha de grãos está associada com mais de um patógeno fúngico ou bacteriano e pode ser considerada um dos principais problemas da cultura do arroz. O principal patógeno causador da mancha de grãos é o fungo *Bipolaris oryzae* (Breda de Haan) Shoem [teleomorfo: *Cochliobolus miyabeanus* (Ito & Kuribayashi)]. A doença é apontada como secundária, mas que pode causar danos significativos à produtividade nas áreas orizícolas brasileiras (Dallagnol et al, 2006; Celmer et al., 2007; Grohs et al, 2009). Isso se dá pelo fato de que é uma doença de ampla distribuição nas regiões orizícolas do mundo (Mew & Gonzales, 2002; Bedendo & Prabhu, 2005), o que pode estar relacionado com a capacidade de sobrevivência do fungo na semente, principal meio de disseminação do agente causal da doença para regiões distantes de sua fonte de inóculo (Padwick, 1950).

Existem vários métodos que podem ser empregados no controle da mancha parda (Ou, 1985). Recomenda-se o uso do Manejo Integrado de doenças, através de uso de cultivares resistentes, práticas mecânicas,

tratamento químico de sementes, controle químico da doença com uso de fungicidas e o controle biológico, que é uma forma sustentável de controlar as doenças. Uma forma de se utilizar o controle biológico é utilizando compostos vegetais extraídos dos óleos essenciais das plantas. Em decorrência das dificuldades no controle de fitopatógenos em plantas, aumentou-se a bioprospecção de moléculas bioativas que apresentem atividade antimicrobiana e protetora de plantas. Os óleos essenciais representam uma alternativa de controle de fungos fitopatogênicos, com atividade fungistática direta, ou na indução de resistência em plantas, ativando o próprio sistema de defesa da planta. Esses compostos possuem uma riqueza de metabólitos secundários, como flavonóides, terpenos, benzenóides, entre outros compostos, que podem atuar na interação planta- patógeno (Marques, 2014).

Devido aos aspectos abordados, verifica-se que o controle por meio de genótipos resistentes e de compostos orgânicos presentes em óleos essenciais são tecnologias importantes que precisam ser mais estudadas visando o fortalecimento da produção sustentável de arroz no Brasil e no mundo. Vale ressaltar que o presente projeto faz parte de um programa maior de manejo sustentável de doenças na cultura do arroz, no Estado do Tocantins.

MÉTODO E MATERIAIS

A pesquisa foi conduzida em duas etapas, a primeira delas realizada em campo, em um experimento instalado em Formoso do Araguaia (TO). O objetivo foi avaliar e identificar genótipos de arroz em avançado estágio de Valor de Cultivo e Uso (VCU), quanto à resistência e suscetibilidade a manchas dos grãos. O experimento em campo (Figura 1) foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC) com 20 genótipos dispostos em 4 repetições. Na segunda etapa, os ensaios foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado

(DIC) na Universidade Federal do Tocantins, Campus Gurupi, e consistiu na análise do progresso da doença em condições controladas. Também, foram realizados testes de controle alternativo utilizando *Myrcia sp.* com o objetivo de reduzir os danos provocados pela infecção por *Bipolaris oryzae*.



Figura 1.: Disposição do experimento em campo, em Formoso do Araguaia - TO

Ainda em campo, houve a identificação e coleta de material vegetal com sintomas característicos de infecção causada por *Bipolaris oryzae*. As amostras coletadas foram conduzidas ao Laboratório de Fitopatologia da Universidade Federal do Tocantins, onde ocorreu a identificação e isolamento do patógeno em meio de cultura do tipo BDA convencional, com a finalidade de compor o acervo da micoteca, para ser utilizado posteriormente em outras fases da pesquisa.

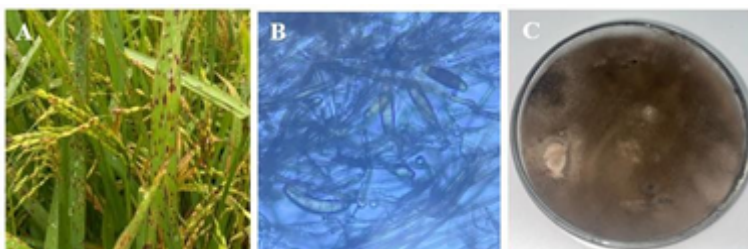


Figura 2: Sintomas de Mancha Parda nas folhas e Manchas dos grãos (A), Conídios de *B. oryzae* (B) e Crescimento Micelial de *B. oryzae* em BDA (C).

Dos 20 genótipos avaliados, foram selecionados três que apresentaram resistência à Mancha de Grãos e três com susceptibilidade à doença, de acordo com a escala de notas, com graus variando de 0 a 9 (Silva *et. al.* 2022). Para avaliar a severidade da

doença foram realizadas cinco avaliações semanais, sendo estas ocorridas nos estádios vegetativos e reprodutivos da cultura do arroz. Em ambiente controlado, as avaliações iniciaram após dois dias da retirada das plantas da câmara úmida sendo avaliadas a cada 48 horas até completar a estabilidade do progresso da doença. Por meio das avaliações de severidade em campo e em ambiente controlado, foi realizado o cálculo de área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), de acordo com a seguinte fórmula:

$n-1$

$$AACPD = \sum_{i=1}^{n-1} [(X_i + X_{i+1})] \frac{1}{2} (T_{i+1} - T_i)$$

Para a interpretação da AACPD, “n” se refere ao número de avaliações, “x” é a severidade da doença e “t” ($T_{i+1} - T_i$) é o intervalo de tempo entre duas avaliações consecutivas. Aos 40 dias após a semeadura (DAS) foi inoculado o fungo *B. oryzae*, utilizando câmara de Neubauer, com a concentração de 1×10^4 conídios/mL, para cada vaso, em seguida, as plantas foram mantidas em câmara úmida por 48 horas.

No que se refere ao manejo de Mancha Parda nos genótipos selecionados em condições de campo, foi utilizado o óleo essencial de *Myrcia sp.* extraído por meio do processo de hidrodestilação, utilizando aparelho do tipo Clevenger, conforme descrito na metodologia proposta por Guimarães et. al., (2008). Para a obtenção do óleo essencial, foram coletadas folhas da espécie supracitada que, após lavadas e maceradas em partículas de aproximadamente 1 cm^3 foram adicionadas em balões de fundo redondo, aproximadamente 500g de material vegetal e 1 L de água destilada. A mistura foi submetida a aquecimento por 2 horas em manta aquecedora ligados ao hidrodestilador tipo Clevenger. Após a finalização do processo de extração, o óleo essencial foi coletado na forma sobrenadante, identificado e armazenado em frasco âmbar a 4°C .

Após a extração do óleo essencial, foi realizado o teste de controle *in vitro* de *B. oryzae*, utilizando 5 concentrações de óleo essencial de *Myrcia sp.* (1%, 2,5%, 5%, 7,5% e 10%) e 3 repetições, além do controle positivo com fungicida (Triciclazol + Tebuconazol na concentração de 20 mg/L) e o controle negativo (água), dispostos de forma inteiramente casualizada (DIC). Ainda, para verificar o efeito inibitório sobre o crescimento micelial do fungo, foram distribuídos 200 µL de cada concentração sob a superfície do meio de cultura em placas de petri (diâmetro: 80 mm) com auxílio de alça tipo Drigalsky, sendo, em seguida, adicionado o disco micélio-ágar de 6 mm de diâmetro, no centro das placas, contendo o isolado de *B. oryzae* em estudo desta pesquisa. Por meio das avaliações realizadas, foi calculada a Inibição do Crescimento Micelial (ICM) e o Índice de Velocidade de Crescimento Micelial (IVCM) pelas equações propostas por Gomes (2002) e Bastos (1997).

Os resultados de redução do crescimento micelial obtidos por meio do teste de controle *in vitro* foram utilizados para a realização do teste de fitotoxicidade nos genótipos avaliados. Desse modo, o experimento foi delineado de forma inteiramente casualizada com 6 genótipos e 5 concentrações de óleo essencial (1; 2,5; 5,0; 7,5 e 10 mg/mL) de *Myrcia sp.* Que 24 horas após a aplicação realizou-se a avaliação conforme grau de fitotoxidez, adaptada de Cogliatti et. al, (2011).

Ainda, no que tange a instalação do experimento para avaliação dos efeitos preventivo e curativo do óleo essencial de *Myrcia sp.* deve-se destacar que seguiram os mesmos padrões das demais etapas desta pesquisa no que se refere a composição do substrato nos vasos e delineamento. Para o controle positivo foi utilizado o mesmo produto comercial sob a mesma concentração, o controle negativo consistiu na inoculação do isolado em cada genótipo, sem tratamento com produto

que apresenta atividade fungicida e a testemunha que não sofreu nenhum tratamento experimental.

Para o controle preventivo, foi utilizada 5 mL de solução composta por óleo essencial + tuim + água que fora borrifada previamente sob a superfície foliar das plantas de arroz e, após o período de 2 horas foi inoculado o isolado de *B. oryzae* nos genótipos que foram submetidos a 48 horas em câmara úmida para iniciar as avaliações de severidade da doença. O controle curativo seguiu a metodologia dos tratamentos e metodologia supracitada no controle preventivo, todavia, deve-se destacar que diferente do controle preventivo, no curativo, a aplicação do óleo essencial só foi realizada após a confirmação da presença de Mancha de grãos nos materiais inoculados previamente. Os resultados obtidos por meio da escala de notas foram utilizados para cálculo da Área Abaixo da Curva de Progresso da Doença (AACPD).

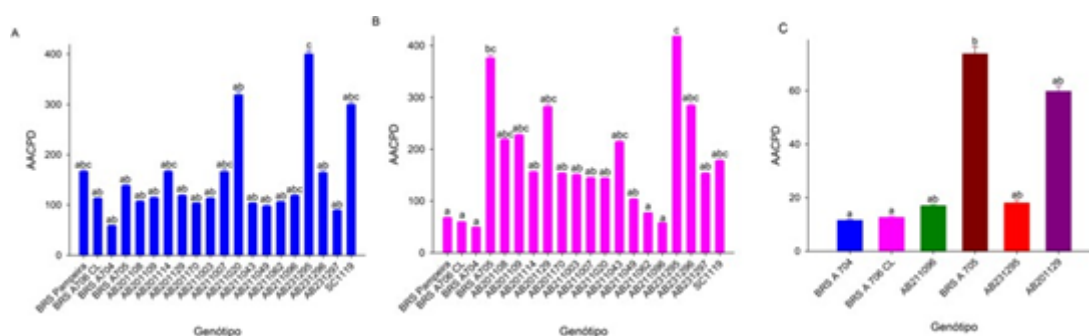
DADOS E DISCUSSÃO

Com a finalidade de selecionar os genótipos avaliados em condições de campo para a segunda etapa do experimento, que corresponde às avaliações em condições controladas, os materiais foram analisados através da AACPD. Sendo assim, os genótipos que se mostraram mais resistentes à mancha de grãos na fase reprodutiva (Figura 4B), apresentaram menores médias de AACPD, sendo BRS A704, AB211096 e BRS A706 CL. Em contrapartida, os genótipos com maior suscetibilidade à infecção por *B. oryzae* no estágio reprodutivo foram: AB201129, AB231295, BRS A705.

O progresso da doença em ambiente controlado apresentou similaridade com os dados de campo, merecendo destaque apenas para o genótipo AB231295 que fora selecionado na etapa anterior como suscetível, mas em ambiente controlado não apresentou diferença estatística do genótipo AB211096, selecionado como

resistente na primeira etapa da pesquisa (Figura 3C). As variações de resistência entre os materiais ocorrem devido a quantidade de inóculo que pode infectar a planta em campo, mascarando o potencial de resistência do genótipo.

Figura 4. Área Abaixo da Curva do Progresso da Doença Mancha Parda (AACPD) dos genótipos avaliados.



Com relação ao controle *in vitro* de *B. oryzae* através de óleo essencial de *Myrcia* sp. foi observada inibição parcial do crescimento micelial (ICM) em todas as concentrações testadas (Figura 5), quando comparada a testemunha (controle negativo com água), demonstrando atividade fungistática do óleo essencial em estudo. Vale destacar, que na concentração de 2,5% houve inibição de 52,60% do crescimento micelial, demonstrando que mesmo em baixas concentrações, o óleo essencial apresentam um controle significativo, quando comparado a testemunha positiva contendo fungicida comercial a base de Triciclazol + Tebuconazol que também apresentou atividade fungitóxica sobre o crescimento, inibindo 98,59% do crescimento micelial.

Foi observado, também, por Fernandes (2022) que o óleo essencial de *Morinda citrifolia* apresentava maior eficiência no controle de *Rhizoctonia solani* à medida que aumentava progressivamente a concentração, mesmo controlando de forma significativa com baixas concentrações. Sendo assim, constata-se a efetividade do Manejo Integrado de Doenças (MID), evidenciando que a associação do

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

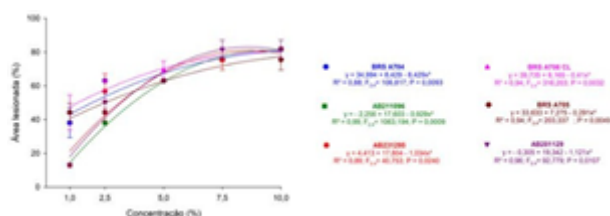
controle genético, químico e alternativo demonstra alta eficiência para o manejo da Mancha de grãos no arroz.

Tabela 1: Efeito de concentrações do óleo essencial de *Myrcia sp.* em *Bipolaris oryzae*.

Conc.	Dias de Avaliação					ICM (%)	Regressão	R²
	2º	4º	6º	8º	10º			
Água + Tween 20	18,85±1,47	57,76±1,19	78,9±0,9	80±0	80±0	-	$y = 25,124 + 54,004x - 6,6660x^2$	0,99
Fungicida	-	-	-	-	-	98,59	$y = 3,391 - 3,714x + 0,8074x^2$	0,86
1%	13,20±0,53	27,09±1,47	41,62±1,11	55,97±0,68	64,4±2,59	37,47	$y = 1,0747 + 13,127x$	0,99
2,5%	11,93±0,53	23,46±3,22	30,62±3,11	35,03±1,5	45,83±4,79	52,60	$y = 5,5608 + 7,9368x$	0,98
5%	10,65±0,37	20,29±0,79	27,63±2,26	36,86±3,7	38,87±1,43	56,94	$y = 4,9632 + 7,2988x$	0,97
7,5%	12±1,24	19,03±0,62	23,89±0,62	29,16±1,58	35,01±2,47	59,94	$y = 6,9733 + 5,6147x$	0,99
10%	9,766±0,26	17,76±0,32	22,99±0,86	27,99±0,53	31,8±0,74	64,25	$y = 5,1578 + 5,5525x$	0,99

Após a realização do teste *in vitro* com o óleo essencial, foi realizado o teste de fitotoxicidade em condições controladas. Conforme ilustrado na figura 6, as concentrações acima de 2,5% de óleo essencial de *Myrcia sp.* apresentaram sintomas característicos de fitotoxidez nos genótipos de arroz avaliados nesta pesquisa. Ainda, deve-se destacar que para as concentrações acima de 50 mg/mL, os sintomas de fitotoxidez alcançaram valores superiores a 50% em todos os genótipos, demonstrando que para a aplicação sob o tecido vegetal, é necessário a utilização de concentrações menores.

Figura 5: Fitotoxidade de óleo essencial de *Myrcia sp.* em genótipos de arroz.



Em relação ao controle preventivo e curativo da Mancha de grãos nos genótipos em estudo, utilizando o óleo essencial de *Myrcia sp.*, pode-se destacar que os resultados para o progresso da doença no controle preventivo apresentaram discrepância significativa quando comparados os tratamentos com óleo essencial e o tratamento

controle. É notório que para todos os genótipos avaliados, os efeitos do óleo essencial na redução de lesões características da Mancha de Grãos foram mais efetivas no controle preventivo quando comparado ao controle curativo, demonstrando, dessa forma, que a eficiência do óleo é maior quando a aplicação ocorre de forma protetiva.

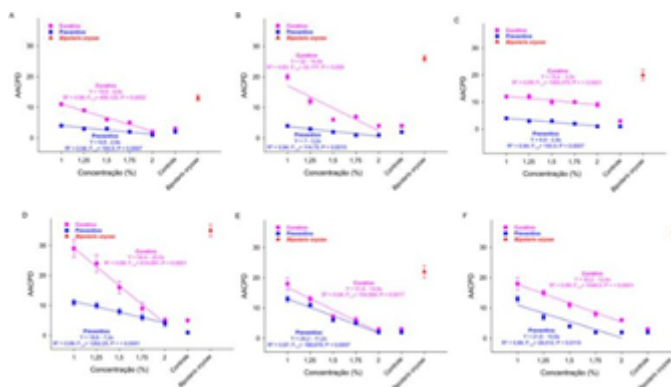


Figura 6: AACPD da mancha parda nos genótipos de arroz em função de concentrações crescentes do óleo essencial de *Myrcia sp.* sobre *Bipolaris oryzae*.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O óleo essencial de *Myrcia sp.* apresentou eficiência no controle do isolado de *Bipolaris oryzae* utilizado neste estudo. As concentrações abaixo de 2% no controle preventivo demonstraram redução no progresso da doença nos genótipos avaliados, por outro lado, no que se refere ao controle curativo utilizando o óleo essencial observa-se eficiência inferior, constatando que, para haver viabilidade no manejo da Mancha de Grãos do arroz, a aplicação do óleo essencial deve ocorrer de forma protetiva.

REFERÊNCIAS

CHEN, J. Identification of rice plant diseases using lightweight attention networks. Expert Systems with Applications, v. 169, p. 114514, 2021.

COGLIATTI, M.; JUAN, V. F.; BONGIORNO, F.; DALLA VALLE, H. ROGERS, W.J. Control of grassy weeds in annual canary grass. *Crop Protection*, v. 30, n. 2, p. 125-129, 2011.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos - 4º Levantamento. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 25 jan. 2022.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária de Clima Temperado (Pelotas, RS). Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil. Documento EMBRAPA/CPACT, n.3, 1993. 87p

FERNANDES, Paulo R. S. Potencial de óleos essenciais de *Xylopia frutescens* e *Morinda citrifolia* no controle da queima das bainhas do arroz e efeitos em organismos não-alvos. Gurupi – TO. 2022

FRAGOSO, D. DE B. et al. CARACTERIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE ARROZ IRRIGADO TROPICAL NA REGIÃO SUDOESTE DO ESTADO DO TOCANTINS SAFRA 2018/2019. XI Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado. Anais...Balneário Camboriú: Anais, 2019

GONÇALVES. F, J.; ARAÚJO. L. G.; SILVA. G. B.FILIPPI.M.C.C. Controle químico da brusone em arroz de terras altas: efeitos nos fungos não alvo do filoplano. - *Pesq. Agropec. Trop.*, Goiânia, v. 42, n. 1, p. 77-81. 2012.

KE, Y.; DENG, H.; WANG, S. Advances in understanding broad-spectrum resistance to pathogens in rice. *The Plant Journal*, v. 90, n. 4, p. 738-748, 2017.

LOBO, et al. Cultivo de arroz: manejo de doenças. Embrapa Arroz e Feijão. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivo>

[s/arroz/producao/sistema-de-cultivo/arroz-de-terras-altas/manejo-de-pragas/manejo-de-doencas#:~:text=A%20mancha%20de%20gr%C3%A3o%20est%C3%A1,consequentemente%20perda%20no%20rendimento%20industrial.](#)

MAIA, F. G. M.; ARMESTO, C.; ZANCAN, W. L. A.; MAIA, J. B.; ABREU, M. S. Efeito da temperatura no crescimento micelial, produção e germinação de conídios de *Colletotrichum* spp. isolados de mangueira com sintomas de antracnose. Bioscience Journal, v. 27, n. 2, p. 205-210, 2011.

Manual de identificação de doenças da cultura do arroz. 20017. Embrapa, 2017. PDF 45 p.

MARQUES, JACQUELINE SANTOS. Utilização de extratos e óleos vegetais no controle de fitopatógenos. In: MARQUES, JACQUELINE SANTOS. COMPOSTOS ATIVOS DE FOLHAS DE EUGENIA UNIFLORA E SEUS EFEITOS CONTRA MOFO BRANCO CAUSADO POR SCLEROTINIA SCLEROTIORUM EM PLANTAS DE FEIJOEIRO. 2014. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Ciências Biológicas ICB, Universidade Federal do Goiás, 2014. p. 96.

PRABHU, A. S.; FILIPPI, M.C. Brusone em arroz: controle genético, progresso e perspectivas. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2006. 387p.

PRABHU, A.S.; FILIPPI, M.C.C.; RIBEIRO, À.S. Doenças e seu controle. In: A cultura do arroz no Brasil, 2 ed., EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2006, P.561-631.

RIBEIRO, J. F; WALTER, B. M. T. As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado. In.: SANO, S. M; ALMEIDA, S. P; RIBEIRO, J. F. Ecologia e flora. Brasília: EMBRAPA, 2008. v. 1, p. 152-212.

SANTOS, G.R.; CAFÉ-FILHO, A.C. Reação de genótipos de melancia ao crestamento gomoso do caule melancia. Horticultura Brasileira, n. 23, p. 945-950, 2005.

SCHEUERMANN, K. K.; NESI, C. N. Controle químico de brusone e mancha parda na cultura do arroz irrigado. Summa Phytopathologica, v. 47, n. 3, p. 168-172, 2021

SCHWANCK, André. Mancha parda em arroz: Importância Epidemiológica da incidência de *Bipolaris oryzae* na semente, padrão espacial de lesões nas folhas e escala diagramática de severidade. Porto Alegre – RS. 2012.

SEIXAS, P. T. L.; CASTRO H.C.; SANTOS, G. R.; CARDOSO D. P.; Controle fitopatológico do *Fusarium subglutinans* pelo óleo essencial do capim-citronela (*Cymbopogon nardus* L.) e do composto citronelal. Revista Brasileira de Plantas Medicinais, Botucatu, v.13, especial, p.523-526, 2011.

SILVA-LOBO, V.L; SOUZA, A.C.A; GONÇALVES, F.J.; FIIPPI, M.C.C.; PRABHU, A.S. Diversificação de cultivares de arroz no manejo sustentável da brusone (*Magnaporthe oryzae*) em várzeas tropicais no estado do Tocantins. Comunicado Técnico 256, Embrapa, Santo Antônio de Goiás, nov. 2020.

ZHANG, M. First-principles search for alloying elements that increase corrosion resistance of Mg with second- phase particles of transition metal impurities. Computational Materials Science, v. 165, p. 154-166, 2019.

FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Federal do Tocantins.

Capítulo 5

AVALIAÇÃO BIOQUÍMICA E QUÍMICA DE LINHAGENS DE FEIJÃO-CAUPI DURANTE ARMAZENAMENTO

Allyne Barbosa Ribeiro
Rodrigo Ribeiro Fidelis

RESUMO

Este estudo avaliou as alterações bioquímicas e químicas em 14 linhagens de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) ao longo de 180 dias de armazenamento, com o objetivo de identificar as variações nos teores de nitrogênio e proteína. O feijão-caupi, reconhecido como importante fonte de proteínas em regiões semiáridas, tem sua qualidade nutricional significativamente influenciada pelo tempo e pelas condições de armazenamento. As linhagens, originárias do programa de melhoramento genético da Universidade Federal do Tocantins, foram submetidas a análises por meio do método micro- Kjeldahl e espectrofotometria. Os resultados revelaram redução progressiva nos teores de nitrogênio e proteína ao longo do período de armazenamento. A linhagem FC 3013, que inicialmente apresentou o maior teor de nitrogênio, sofreu queda acentuada ao final do experimento, enquanto a linhagem FC 407 demonstrou maior estabilidade nesses parâmetros. A análise de variância (ANOVA) evidenciou diferenças estatisticamente significativas entre as linhagens, sendo o tempo o principal fator de variação, o que destaca a importância dessas informações para o desenvolvimento de cultivares com maior estabilidade durante o armazenamento.

Palavras-chave: Qualidade nutricional; Segurança alimentar; *Vigna unguiculata*.

1 Graduanda em agronomia, Pibic, Universidade Federal do Tocantins, allyne.barbosa@mail.uft.edu.br

2 Doutor em fitotecnia, Curso de agronomia, Universidade Federal do Tocantins, fidelisrr@mail.uft.edu.br

INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) é uma das principais leguminosas cultivadas em regiões áridas e semiáridas do mundo, onde ocorre comumente regimes de déficit hídrico (NAMATSHEVE et al., 2020), capacidade esta promovida pela alta plasticidade presente na planta, que pode diferir nos distintos genótipos existentes (CARVALHO et al., 2019).

No Brasil seu cultivo chega a aproximadamente um milhão de hectares, com as regiões norte e nordeste responsáveis por cerca de 90% da área cultivada total, isso se deve pelo fato do feijão-caupi ser uma das principais fontes de proteína para as famílias (SANTOS et al., 2017). Além de ser considerado uma atividade promotora do desenvolvimento agrícola, quanto às vertentes econômica e nutricional, principalmente para as populações rurais mais carentes, configurando função socioeconômica, e demanda alimentar diária (TEÓFILO et al., 2008).

Nesse sentido, a identificação e seleção de genótipos produtivos e nutritivos representam um dos principais objetivos dos programas de melhoramento dessa cultura (OLIVEIRA et al., 2014), para que elas possuam características superiores às cultivares pré-existentes. A obtenção de cultivares com vantagens só é possível se a nova cultivar possuir simultaneamente fenótipo de interesse como o aumento ou estabilidade da produtividade, aumentar a qualidade ou a quantidade de proteínas, óleos, vitaminas, minerais, conservação pós-colheita, obter cultivares resistentes às doenças e às pragas, aumentar sua tolerância às condições adversas de clima ou solo (TSUTSUMI et al., 2015).

A concentração de nutrientes nos grãos está diretamente ligada a disponibilidade dos mesmos no solo e suas interações, sendo

afetado pelos processos que acontecem no solo para a absorção das plantas (como o contato do nutriente com as células da raiz), bem como a absorção, movimentação, divisão e metabolismo que interferem na disponibilidade dos elementos nas partes da planta, podendo induzir desordem nutricional com a inibição do acúmulo, resultando em baixas concentrações (PRADO, 2008). Já a capacidade da planta de absorver e utilizar esses nutrientes minerais está associada ao acúmulo destes em partes distintas do tecido vegetal, representando assim seu estado nutricional, que por sua vez está vinculado aos fatores ambientais e genéticos (SAMPAIO et al., 2012).

O feijão é um produto que perde rapidamente seu valor comercial após a colheita, devido a redução da capacidade de reidratação, do aumento do tempo necessário de cozimento e do escurecimento do tegumento (RIBEIRO et al., 2007), período de pós-colheita, beneficiamento, condições de estocagem e tecnologia de processamento (DALLA CORTE et al., 2003), podendo assim ocorrer um decréscimo da sua qualidade com períodos maiores de armazenamento.

Diante do pressuposto objetivou-se com este estudo avaliar a influência do período de armazenamento do feijão-caupi na qualidade bioquímica e química dos grãos.

MÉTODO E MATERIAIS

O experimento foi conduzido nos laboratórios de Fitotecnia e Solos do programa de pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Tocantins. As sementes dos genótipos utilizados foram disponibilizadas pelo Grupo de Pesquisa Manejo e Melhoramento Genético de Grandes Culturas e Espécies com Potencial Bioenergético.

Foram analisados 10 genótipos de feijão-caupi, sendo oito linhagens endogâmicas (FC 302, FC 303, FC 306, FC 401, FC 407, FC 409, FC 1101 e FC

3013) e duas variedades comerciais (BRS Novaera e Pingo de Ouro), avaliadas em sete períodos de armazenamento (0, 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias). Cada amostra foi acondicionada em papel pardo e secada em estufa com ventilação forçada por 72 horas a 60°C, por seguinte, trituradas em moinho de facas tipo Willey com peneira de 1,27 mm, para obtenção da farinha.

O teor de nitrogênio nos grãos foi determinado pelo método micro-Kjeldahl (MALAVOLTA e VITTI, 1997). Para isso, 0,5 g de cada amostra homogeneizada foi pesada em balança analítica e transferida para tubos de Kjeldahl, aos quais foram adicionados 2,5 g de mistura catalítica e 7 mL de ácido sulfúrico (HCl). As amostras foram aquecidas em bloco digestor, inicialmente a 50°C por 30 minutos, e depois a temperaturas entre 350 e 400°C, até que o líquido se tornasse límpido e transparente. Após o resfriamento, foi adicionada água destilada e as amostras foram submetidas ao processo de destilação, utilizando-se solução de ácido bórico e indicador misto. A amônia liberada foi destilada e titulada com solução padrão de ácido clorídrico 0,1 mol/L.

Para a quantificação de macro e micronutrientes, a digestão nitroperclórica foi realizada com a solução de HNO₃ (3:1) em 0,4 g de amostra. Os produtos das reações foram analisados em espectrofotômetro de plasma, seguindo as orientações de Teixeira et al. (2017).

O teor de proteína bruta foi estimado com base na porcentagem de nitrogênio presente na amostra, utilizando a equação $PB = \%N \times 6,25$, onde 6,25 é a constante que reflete o teor médio de proteína nos vegetais, considerando que eles contêm 16% de nitrogênio. As análises estatísticas foram realizadas no software R Studio, amplamente utilizado para análises de regressão, permitindo identificar padrões e relações entre as variáveis estudadas e garantindo a precisão dos resultados obtidos.

DADOS E DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo, analisados por meio da Análise de Variância (ANOVA), mostraram diferenças significativas nos teores de nitrogênio e proteína dos genótipos de feijão-caupi ao longo do período de armazenamento. O fator tempo apresentou um valor de F elevado (2283,549), indicando que o armazenamento exerceu impacto substancial nas variáveis bioquímicas analisadas, superando as variações entre os genótipos, que também apresentaram diferenças significativas ($F = 69,702$). Esses achados estão alinhados com a literatura, que aponta o tempo de armazenamento como um dos principais fatores que afetam a qualidade bioquímica dos grãos. Silva et al. (2015) destacam que o armazenamento prolongado pode levar a perdas significativas de nutrientes, especialmente proteínas, reforçando a importância de selecionar genótipos que combinem alta qualidade inicial com maior estabilidade ao longo do tempo.

Tabela 1 – Análise de Variância dos teores de Nitrogênio e Proteína.

FV	GL	QM	Proteína
		Nitrogênio	
Blocos	3	2,74	2,74
Genótipos	9	69,702 *	69,702 *
Tempo	5	2283,549 *	2283,549 *
Linhagens	x	45	27,568 *
Tempo			
Resíduos	177		
Total	239		
CV (%)		3,13	3,13
Média Geral		2,83	17,67

* significativo para $P < 0,05$.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

A interação significativa entre as linhagens e o tempo de armazenamento ($F = 27,568$), indica que o comportamento de cada genótipo varia ao longo do tempo, não sendo uniforme. Essa variação é evidenciada nas Tabelas 2 e 3, que apresentam os teores de nitrogênio e proteína durante os seis meses de armazenamento.

Tabela 2 – Teste de Scott-Knott para desdobramento da interação Genótipos x Tempo e análise do teor de nitrogênio presentes nas linhagens de feijão-caupi obtidas por programa de melhoramento na Universidade Federal de Tocantins, campus de Gurupi.

Linhagem	Agosto	Setembr o	Outubr o	Novemb ro	Dezembr o	Janeir o
FC 302	3,345 d	2,875 e	3,175 d	2,376 e	3,380 b	1,501 d
FC 303	3,254 d	3,125 d	3,038 e	2,841 c	3,046 c	1,497 d
FC306	3,067 e	2,899 e	2,980 e	2,622 e	2,720 e	1,397 e
FC 401	3,207 e	2,942 e	2,936 e	3,128 b	3,124 c	1,610 c
FC 407	3,468 c	2,934 e	3,551 b	2,705 d	2,898 d	1,303 e
FC 409	3,133 e	3,426 c	3,172 d	2,916 c	2,619 e	1,507 d
FC 1101	3,281 d	3,183 d	3,448 b	3,309 e	2,685 e	1,427e
FC 3013	3,753 b	3,224 d	3,281 c	3,644 f	3,635 a	1,565 d
BRS Novaera	3,216 e	3,043 e	3,133 d	2,328 e	2,931 d	1,503 d
Pingo de Ouro	3,379 c	2,992 e	3,415 b	3,184 b	2,736 e	1,683 c

A Tabela 2, que apresenta os teores de nitrogênio, revela tendência geral de decréscimo em todas as linhagens ao longo do tempo. Contudo, essa redução não ocorreu de maneira uniforme, com algumas linhagens mostrando maior estabilidade. A linhagem FC 3013,

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

por exemplo, registrou o maior teor de nitrogênio no início do armazenamento (3,753% em agosto), mas esse valor caiu para 1,565% em janeiro, evidenciando perda significativa. Em contrapartida, a linhagem FC 407 exibiu variação mais estável, com teor inicial de 3,468% em agosto, reduzindo para 1,303% em janeiro.

Tabela 3 – Teste de Scott-Knott para desdobramento da interação Genótipos x Tempo e análise do teor de proteína presentes nas linhagens de feijão-caupi, obtidas por programa de melhoramento na Universidade Federal de Tocantins, campus de Gurupi.

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a nível de 5% de significância.

Linhagem	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro
FC 302	20,90 7 d	17,974 e	19,84 5 d	14,851 e	21,130 b	9,382 d
FC 303	20,33 7d	19,532 d	18,98 7 e	17,758 c	19,042 c	9,361 d
FC 306	19,171 e	18,119 e	18,62 9 e	16,389 d	17,003 e	8,733 e
FC 401	20,04 6 e	18,393 e	18,35 1 e	19,554 b	19,530 c	10,06 4 c
FC 407	21,67 7 c	18,339 e	22,19 7 b	16,907 d	18,113 d	8,147 e
FC 409	19,58 6 e	21,417 c	19,82 7 d	18,226 c	16,374 e	9,420 d
FC 1101	20,50 8 d	19,897 d	21,55 5 b	20,683 a	16,786 e	8,922 e
FC 3013	23,46 0 b	20,153 d	20,51 0 c	22,775 a	22,723 a	9,782 d

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO
DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

BRS	20,10	19,022	19,58	14,553	18,320	9,393
Novaer	0 e	e	6 d	e	d	d
a						
Pingo	21,121	18,700	21,34	19,903	17,101 e	10,52
de	d	e	7 b	b		0 c
Ouro						

O comportamento dos teores de proteína, apresentados na Tabela 3, reflete diretamente as variações no teor de nitrogênio, uma vez que a proteína bruta foi calculada a partir da porcentagem de nitrogênio nas amostras. Observou-se redução geral nos teores de proteína ao longo do período de armazenamento. A linhagem FC 3013, que inicialmente registrou o maior teor de proteína (23,46% em agosto), caiu para 9,782% em janeiro, evidenciando uma perda considerável. Esse comportamento é comum em linhagens científicas, nas quais o armazenamento prolongado compromete as qualidades nutricionais, especialmente no que diz respeito à retenção de proteínas. A linhagem FC 407, que apresentou maior estabilidade nos teores de nitrogênio, também manteve uma retenção de proteína mais consistente, sugerindo que essa linhagem pode ser mais adequada para armazenamento prolongado.

O coeficiente de variação (CV) de 3,13% para os parâmetros de nitrogênio e proteína indica baixa variabilidade experimental, assegurando a confiabilidade dos resultados (PIMENTEL- GOMES, 2009). Isso é crucial ao se analisar os valores médios, onde a interação entre genótipos e tempo de armazenamento foi determinante para identificar genótipos capazes de preservar melhor suas características nutricionais ao longo do tempo. O teste de agrupamento de Scott-Knott, empregado para desdobrar a interação genótipos x tempo, foi eficaz ao separar as linhagens em grupos com respostas distintas ao armazenamento. Por exemplo, a linhagem FC 3013, apesar de apresentar os maiores teores de nitrogênio e proteína no início,

sofreu uma queda mais acentuada ao longo dos meses, posicionando-a em um grupo diferente de linhagens como a FC 407, que demonstrou maior estabilidade.

Assim, os dados sugerem que o tempo de armazenamento impacta significativamente a qualidade bioquímica dos genótipos de feijão-caupi, com redução clara nos teores de nitrogênio e proteína à medida que o período de armazenamento avança. Embora todos os genótipos tenham sofrido alguma perda, a linhagem FC 407 se destacou pela sua estabilidade, enquanto a FC 3013, apesar de ter altos teores iniciais, exibiu uma queda mais pronunciada. Esses resultados são altamente relevantes para programas de melhoramento, que buscam linhagens que combinam alto valor nutricional com estabilidade durante o armazenamento.

Em resumo, o estudo demonstra variações significativas entre os genótipos quanto à perda de qualidade bioquímica durante o armazenamento, o que deve ser levado em consideração no desenvolvimento de cultivares que atendam tanto às exigências nutricionais quanto às necessidades de armazenamento prolongado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo demonstrou que o período de armazenamento exerce impacto significativo sobre os teores de nitrogênio e proteína no feijão-caupi.

Linhagens como a FC 3013, embora apresentem altos teores iniciais, sofreram maiores perdas durante o armazenamento, enquanto a FC 407 destacou-se pela maior estabilidade na retenção de proteína.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, M.; CASTRO, I.; MOUTINHO-PEREIRA, J.; CORREIA, C.; EGEA-CORTINES, M.; MATOS, M.; LINO-NETO, T. Evaluating stress responses in cowpea under drought stress. *Journal of Plant Physiology*, [s. l.], v. 241, p. 153001, 2019.

DALLA CORTE, A. et al. Environment effect on grain quality in early common bean cultivars and lines. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, v. 3, n. 3, p. 193-202, 2003.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

NAMATSHEVE, T.; CARDINAE, R.; CORBEELS, M.; CHIKOWO, R. Productivity and biological N₂-fixation in cereal-cowpea intercropping systems in sub-Saharan Africa: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 40, p. 1-12, 2020.

OLIVEIRA, I. J.; FONTES, J. R. A.; SILVA, K. J. D.; ROCHA, M. M. BRS Tumucumaque-cultivar de feijão-caupi com valor nutritivo para o Amazonas. [S. l.], 2014.

PIMENTEL-GOMES, F. *Estatística experimental*. 15. ed. São Paulo: Nobel, 2009. 451 p. PRADO, R. M. *Nutrição mineral de plantas*. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 407 p.

RIBEIRO, N. D. et al. Efeito de períodos de semeadura e das condições de armazenamento sobre a qualidade de grãos de feijão para o cozimento. *Bragantia*, v. 66, n. 1, p. 157-163, 2007.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

SAMPAIO, L. S.; BRASIL, E. Exigência nutricional do feijão-caupi. In: II CONAC: *Congresso Nacional de Feijão-Caupi*, 2012. Anais [...]. p. 573-587.

SANTOS, L. A. C.; SILVA, D. M. P.; OLIVEIRA, I. A.; PEREIRA, C. E.; CAMPOS, M. C. C.

Crescimento de cultivares de feijão-caupi em solo de terra firme e várzea. *Ambiência*, Guarapuava, v. 13, n. 1, p. 261-270, 2017.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. de. *Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos*. Viçosa: UFV, 2002. 235 p.

SILVA, R. A. et al. Melhoramento genético do feijoeiro: avanços, perspectivas e novos estudos, no âmbito nacional. *Nativa*, v. 3, n. 3, p. 217-223, 2015.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. *Manual de métodos de análise de solo*. [S. l.], 2017.

TEÓFILO, E. M.; DUTRA, A. S.; PITOMBEIRA, J. B.; DIAS, F. T. C. Potencial fisiológico de sementes de feijão-caupi produzidas em duas regiões do Estado do Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v. 39, n. 3, p. 443-448, 2008.

TSUTSUMI, C. Y. et al. Melhoramento genético do feijoeiro: avanços, perspectivas e novos estudos, no âmbito nacional. *Nativa*, v. 3, n. 3, p. 217-223, 2015.

FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Federal do Tocantins.

Capítulo 6

SELEÇÃO DE LINHAGENS DE FEIJÃO-CAUPI NO SUL DO ESTADO DO TOCANTINS

Rayner Sales Barros¹
Rodrigo Ribeiro Fidelis²

RESUMO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) é uma das culturas mais importantes das regiões Norte e Nordeste do Brasil, sendo semeado em cerca de um milhão de hectares, onde 90% da área cultivada é atribuída a essas regiões, sendo importante fonte de proteína para as famílias locais. O objetivo desse trabalho foi selecionar linhagens de feijão-caupi adaptadas às condições edafoclimáticas do sul do estado do Tocantins. O estudo foi conduzido na Universidade Federal do Tocantins, campus de Gurupi, durante a safra de 2024. Foram selecionadas 10 linhagens com características agronômicas superiores e duas cultivares comerciais (BRS Novaera e Pingo de Ouro) como testemunha. O preparo do solo incluiu gradagem e adubação conforme análises químicas. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Avaliações das características agronômicas incluíram altura de inserção de primeira vagem, altura de planta, comprimento de vagem, diâmetro de planta, número de dias para o florescimento, número de sementes por vagem, número de vagem por planta, peso de mil sementes e produtividade. O estudo foi efetivo na seleção de linhagens com características agronômicas superiores em comparação às cultivares testemunhas amplamente semeadas na região.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*; Melhoramento genético; Produtividade.

¹ Graduando em Agronomia, Pibit/CNPq, Universidade Federal do Tocantins, rayner.barros@mail.uft.edu.br.

² Doutor em Fitotecnia, Curso de Agronomia, Universidade Federal do Tocantins, fidelisrr@mail.uft.edu.br.

INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) é uma das culturas mais importantes das regiões Norte e Nordeste, o seu cultivo no Brasil chega a aproximadamente um milhão de hectares, sendo essas duas regiões responsáveis por cerca de 90% da área cultivada total, além de ser uma das principais fontes de proteína para as famílias dessas regiões (SANTOS et al., 2017).

Além disso, nacionalmente o cultivo do feijão-caupi pode ser considerado como uma atividade promotora do desenvolvimento agrícola, nos aspectos econômico e nutricional, possuindo função socioeconômica, principalmente para as populações rurais mais carentes, sendo usado como forma de suprir suas necessidades nutricionais diárias (TEÓFILO et al., 2008).

O feijão-caupi possui ampla variabilidade de cores de grãos, com diversos nichos de mercado, variando de acordo com preferência do consumidor. Os tipos de grãos são divididos em quatro classes (branco, preto, colorido e misto) e 17 subclasses (FREIRE FILHO, 2011). É um tipo de feijão que apresenta bastante rusticidade, especialmente quanto à demanda hídrica, fazendo com que se adapte bem às condições de déficit hídrico (CONAB, 2021). Suas cultivares possuem características genéticas, fisiológicas e morfológicas intrínsecas, respondendo de forma diferenciada às condições edafoclimáticas locais (SANTOS et al., 2016).

Por meio do melhoramento genético tem-se obtido variedades com arquiteturas aptas à colheita mecânica, o que facilitou sua ampliação para o cultivo em grandes áreas. Destacando-se a recente incorporação do feijão-caupi aos arranjos produtivos de soja, arroz e milho, especialmente na safrinha, o que vem acarretando rápida expansão de seu cultivo. Fatores como alta qualidade de grãos, valor

nutritivo e regularidade da oferta em termos de quantidade e padronização do produto têm despertado o interesse de comerciantes, agroindústria e distribuidores, colaborando para a abertura de importantes mercados, inclusive no exterior (FREIRE FILHO, 2011).

O intuito dos programas de melhoramento para obtenção de novas cultivares, é que elas possuam características superiores às cultivares pré-existentes. A obtenção de cultivares com vantagens só é possível se a nova cultivar possuir simultaneamente vários fenótipos de interesse, tais como alto rendimento e qualidade de grãos, hábito de crescimento da planta que permite mecanização, grande resistência a pragas e doenças, tolerância a altas temperaturas e estresse hídrico, boa qualidade nutricional, grande estabilidade de produção e adaptação a diferentes regiões (SILVA et al., 2018).

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho selecionar linhagens de feijão-caupi desenvolvidas para as condições edafoclimáticas do estado do Tocantins.

MÉTODO E MATERIAIS

O experimento foi instalado na área experimental da Universidade Federal do Tocantins (UFT), campus de Gurupi, situado na região sul do Estado do Tocantins, Brasil, na localização de 11°43'45" de latitude, 49°04'07" de longitude e 280 m de altitude. A classificação climática segundo Köppen (1948) é do tipo B1wA'a' úmido com moderada deficiência hídrica. A temperatura média anual é de 29,5 °C, com precipitação média anual de 1804 mm, apresentando concentrações de chuvas no verão e no inverno seco. O solo é classificado como Latossolo Vermelho - Amarelo distrófico, textura média (EMBRAPA, 2014).

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Na safrinha do ano agrícola de 2023 foi conduzido o estudo com 55 linhagens provenientes do programa de melhoramento de feijão-caupi da Universidade Federal do Tocantins, Campus Universitário de Gurupi. Dentre essas linhagens, foram selecionadas 10 linhagens com características agronômicas superiores, com base em resistência à patógenos, ausência de gavinhas, precocidade, e produtividade, no qual foram usadas para esta safrinha de 2024. Como testemunha foram utilizados duas cultivares comerciais (BRS Novaera e Pingo de Ouro) de amplo cultivo na região.

Para implantação do experimento em campo foi realizado o preparo de solo com operações de gradagem na camada (0-20cm), objetivando romper blocos de terra, destruir e incorporar restos culturais, além de auxiliar no controle de plantas daninhas. Em seguida foi realizado o nivelamento da área com auxílio de grade niveladora. De forma a suprir as exigências nutricionais da cultura, a adubação foi definida conforme as análises químicas e físicas do solo (Tabela 1). A adubação de base foi realizada com auxílio de plantadeira usando formulado NPK (05-25-15) na dose de 120 Kg ha⁻¹, e a adubação de cobertura foi realizada aos 15 DAE, com 53,3 kg ha⁻¹ de ureia, e aos 25 DAE com 13,33 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio.

Tabela 1. Análise de solo da área

Prof	pH	P	K	Ca	Mg	AL	H+AL	SB	T	M.O	m
Cm	-	mg	dm ⁻³			cmolc	dm ⁻³			dag	%
										kg ¹	
0-20	6,1	10,8	105	1,7	0,6	0,0	1,30	2,57	3,87	1,7	0
Granulometria											
Prof	V	Fe	Cu	Zn	Mn	S	B	Areia total		Silte	Argila
Cm	%							g		kg ⁻¹	
0-20	66	26	0,9	0,8	1,5	4	0,16	700		50	250

Fonte: Autor (2024).

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com quatro repetições. Cada parcela experimental foi constituída por quatro linhas de 5,0 m, sendo as duas centrais utilizadas como área útil. O espaçamento entre linhas foi de 0,50 m e entre plantas de 0,10 m, totalizando 10 plantas por metro, resultando em 200 mil plantas por hectare. A semeadura foi realizada manualmente e o estande de plantas se estabeleceu conforme o esperado.

Para o tratamento de sementes, foram utilizados dois produtos comerciais, sendo um fungicida/nematicida dos grupos químicos Tiofanato-metílico e Fluazinam (180 ml de p.c. para cada 100 kg de sementes), e um inseticida do grupo químico Tiametoxam (200 ml de p.c. para cada 100 kg de sementes). Durante o desenvolvimento da cultura foram realizados os controles fitossanitários, através de capina manual e aplicação de herbicidas e inseticidas, conforme o recomendado para a cultura, e a manutenção da umidade do solo, por meio de irrigação suplementar por aspersão convencional.

Ao final do ciclo da cultura foram realizadas as avaliações das características agronômicas de interesse, sendo elas: NDF- número de dias para florescimento; AP- altura de planta; AIPV- altura da inserção da primeira vagem; DP- diâmetro de planta; CV- comprimento de vagem; NVP- número de vagem por planta; NSV- número de sementes por vagem; PMS- peso de mil sementes com correção para 13% do teor de umidade no grão; PROD- produtividade em kg por ha⁻¹ com correção para 13% do teor de umidade no grão.

Os dados obtidos nas avaliações foram submetidos à análise de variância, com aplicação do teste F. Para as comparações de médias entre as linhagens e testemunha (cultivares comerciais), foi utilizado o teste Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. As análises estatísticas foram realizadas utilizando o software estatístico R (R CORE TEAM, 2024).

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

DADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância detectou diferença significativa para todas as características avaliadas, demonstrando variabilidade genética entre os genótipos estudados (Tabela 2). Observa-se ainda baixos coeficientes de variação, evidenciando boa precisão experimental (PIMENTEL- GOMES, 2009).

Tabela 2. Análise de variância pelo quadrado médio com representatividade para o teste F para todas as características avaliadas

QM										
FV	GL	NDF	AP	AIPV	DP	CV	NVP	NSV	PMS	PROD
Repetições	3	1,14	49,60	255,83	30,68	8,72	2,48	1,02	27,06	198990,42
Genótipos	11	5,16*	49,18*	87,09*	1,26*	8,16*	3,41*	4,62*	2287,92*	336145,10*
Resíduo	33	1,06	12,07	37,45	0,41	1,20	1,29	1,26	178,16	45962,74
Total	47									
CV (%)		2,82	13,37	13,48	7,93	6,41	18,48	11,91	6,90	16,33
Média Geral		36,63	25,97	45,41	8,12	17,07	6,14	9,43	193,41	1312,61

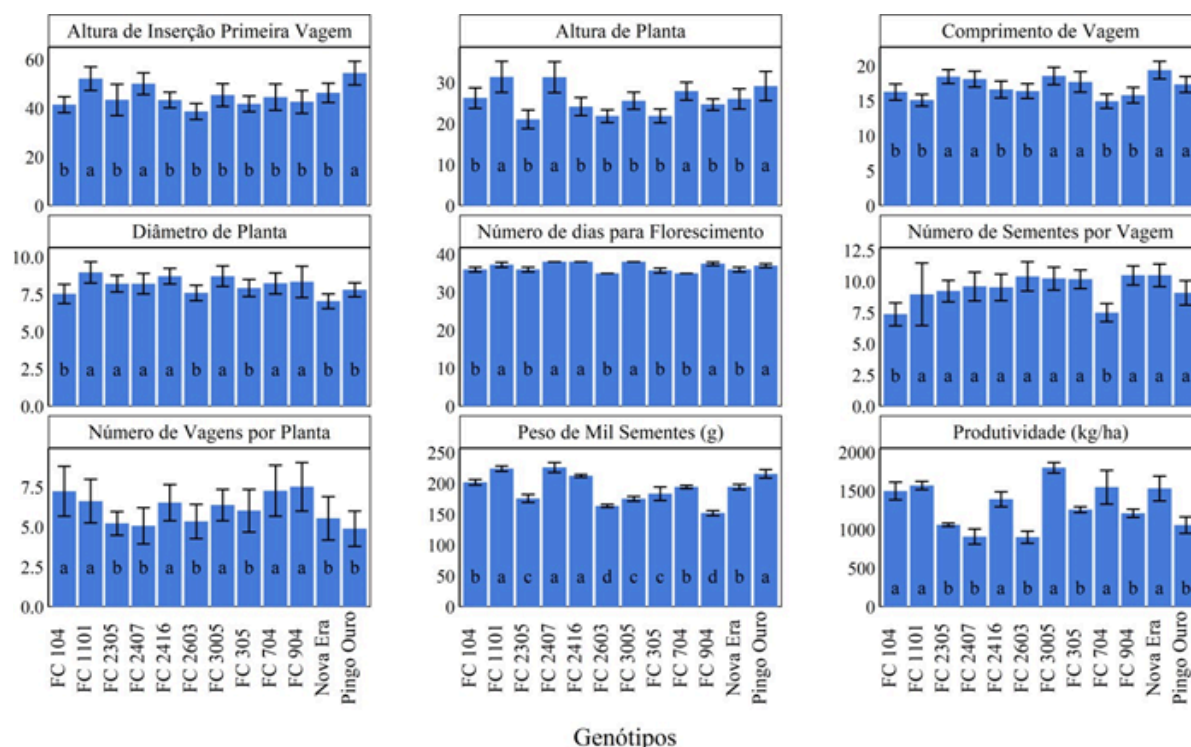
* significativo para $P < 0,05$ pelo teste F.

Quanto à altura de inserção de primeira vagem (Figura 1), constata-se a formação de dois grupos estatísticos, sendo o de maiores médias constituído pelas linhagens FC 1101, FC 2407 e a cultivar comercial Pingo de ouro.

Quanto à altura de plantas (Figura 1), constata-se a formação de dois grupos estatísticos, sendo o de maiores médias constituído pelas linhagens FC 1101, FC 2407, FC 704 e a cultivar comercial Pingo de ouro.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Figura 1. Médias das nove características agrônômicas avaliadas em 12 genótipos de feijão-caupi.



Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si a um nível de 5% de significância pelo teste de Scott-Knott.

Quanto ao comprimento de vagem (Figura 1), constata-se a formação de dois grupos estatístico, sendo o de maiores médias constituído pelas linhagens FC 2305, FC 2407, FC 3005, FC 305 e as cultivares comerciais Pingo de ouro e BRS Novaera.

Quanto ao diâmetro de planta (Figura 1), constata-se a formação de dois grupos estatísticos, sendo o de maiores médias constituído pelas linhagens FC 1101, FC 2305, FC 2407, FC 2416, FC 3005, FC 704 e FC 904.

Para o número de dias para o florescimento (Figura 1), constata-se a formação de dois grupos estatístico, sendo o de maiores médias constituído pelas linhagens FC 1101, FC 2407, FC 2416, FC 3005, FC 904 e a cultivar comercial Pingo de ouro, sendo, portanto, consideradas mais

tardias, quando comparadas aos genótipos que compuseram o grupo de menor média (precoce).

Quanto ao número de sementes por vagem (Figura 1), constata-se a formação de dois grupos estatístico, sendo o de maiores médias constituído pelas linhagens FC 1101, FC 2305, FC 2407, FC 2416, FC 2603, FC 3005, FC 305, FC 904 e as cultivares comerciais Pingo de ouro e BRS Novaera. Quanto ao número de vagens por planta (Figura 1), constata-se a formação de dois grupos estatísticos, sendo o de maiores médias constituído pelas linhagens FC 104, FC 1101, FC 2416, FC 3005, FC 704 e FC 904.

Quanto ao peso de mil sementes (Figura 1), constata-se a formação de quatro grupos estatísticos, sendo o de maiores médias constituído pelas linhagens FC 1101, FC 2407, FC 2416 e a cultivar comercial Pingo de ouro.

Para a característica produtividade (Figura 1), constata-se a formação de dois grupos estatísticos, sendo o de maiores médias constituído pelas linhagens FC 104, FC 1101, FC 2416, FC 3005, FC 704 e a cultivar comercial BRS Novaera. Este resultado demonstra o potencial produtivo de tais linhagens, pois, sobressaíram-se em relação a uma testemunha amplamente semeada na região. Além disso, a linhagem FC 3005 expressou produtividade de $1\,801,97\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, cerca de $693,0\text{ kg}$ a mais quando comparada a média de produtividade do estado (CONAB, 2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo foi eficiente na identificação de linhagens com características agronômicas superiores às cultivares amplamente semeadas na região, demonstrando que as linhagens desenvolvidas e selecionadas apresentam boa adaptação às condições

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

edafoclimáticas do sul do Estado do Tocantins. As linhagens que se destacaram em termos de produtividade foram FC 2416, FC 104, FC 704, FC 1101 e FC 3005.

REFERÊNCIAS

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2020/21 – Quinto levantamento. Brasília, v.8, n.5, p.1-95, 2021.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento da safra brasileira de grãos. Safra 2023/2024 – Décimo primeiro levantamento. Brasília. V11, n.11, p.1-129, 2024.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 4. ed. Brasília, DF, Brasil: Embrapa (In Portuguese), (2014).

FREIRE FILHO, F. R. Feijão-caupi: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. 1. ed. 84 p. Teresina, PI: Embrapa Meio-Norte, 2011.

KOEPPEN, W. Climatología: con un estudio de los climas de la tierra. México, DF: Fondo de Cultura Económica, 478 p., 1948.

PIMENTEL-GOMES, F. 2009. Curso de estatística experimental. 15. Ed. Fealq, Piracicaba, 451p.

R CORE TEAM (R version 4.1.1). The R project for statistical computing. Disponível em: < <http://www.r-project.org/index.html>>. Acesso em: 10 ago. 2024.

SANTOS, L. A. C.; SILVA, D. M. P.; OLIVEIRA, I. A.; PEREIRA, C. E.; CAMPOS, M. C. C. Crescimento de cultivares de feijão Caupi em solo de terra firme e várzea. *Ambiência Guarapuava*, v.13, n.1, p. 261-270, 2017.

SANTOS, M. A.; BATISTA, P. S. C.; LOPES, M. F.; SILVA, M. G. DE M.; BERTO, A. L. F. Desempenho agronômico de milho consorciado com feijão-de-corda em diferentes populações e arranjos de plantas no semiárido mineiro. *Revista Agroambiente*, v.10, n. 3, p. 201-208, 2016.

SILVA, J. D. L.; Damasceno-Silva, K. J., Rocha, M. D. M., MENEZES JÚNIOR, J. Â. N. D.; Ribeiro, V. Q. Selection for the development of black eye cowpea lines. *Revista Caatinga*, v. 31, n. 1, p. 72- 79, 2018.

TEÓFILO, E. M.; Dutra, A. S., Pitimbeira, J. B., Dias, F. T. C.; F.S. Potencial fisiológico de sementes de feijão-caupi produzidas em duas regiões do Estado do Ceará. *Revista Ciência Agronômica*, v. 39, n. 3, p. 443-448, 2008.

FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

Capítulo 7

DIAGNÓSTICO SOCIOAMBIENTAL DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS DA REGIÃO SUDOESTE DO ESTADO DO TOCANTINS

Alykson Lima Dias 1
José de Oliveira Melo Neto 2

RESUMO

Este estudo teve como objetivo realizar um diagnóstico socioambiental das bacias hidrográficas na região Sudoeste do Tocantins com a finalidade de identificar fatores naturais e antrópicos que caracterizam as diversas formas de interação e ocupação destas bacias hidrográficas ao longo do tempo. Para execução do estudo foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica (SIG) QGIS em sua versão 3.16 e o software Excel ® para tabulação e processamento de diversos conjuntos de dados. Os dados utilizados foram obtidos de diversas fontes, tais como o IBGE, Secretaria de Planejamento do Tocantins e o projeto MAP BIOMAS. Foram analisadas características morfométricas, de cobertura do solo e socioeconômicas das bacias entre 2010 e 2022. Os resultados mostraram uma significativa redução da vegetação nativa e aumento das áreas agrícolas e de pastagem, contribuindo para a degradação ambiental e aumento dos riscos de erosão e fragmentação do solo. Em termos socioeconômicos, o crescimento econômico variou entre as sub-bacias, evidenciando disparidades nos indicadores de renda, escolarização e analfabetismo que refletiram em IDH abaixo das médias nacional e estadual em várias das bacias analisadas. As bacias estudadas apresentam baixa suscetibilidade a enchentes em condições normais e relevos que favorecem o processo de infiltração. Entretanto, essas condições também favoreceram a exploração agrícola com o passar dos anos. A adoção de práticas agrícolas sustentáveis, juntamente com políticas públicas voltadas para a educação e conservação ambiental, são essenciais para promover o desenvolvimento socioeconômico sustentável da região, minimizando os efeitos adversos sobre os recursos naturais.

Palavras-chave: Geoprocessamento; Gestão de Recursos Hídricos; Morfometria.

1 Graduando em Engenharia Florestal, Pibic/FAPT, Universidade Federal do Tocantins, alykson.lima@mail.uft.edu.br

2 Doutor em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Tocantins, jose.mneto@uft.edu.br

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para a vida, sustentando diversas espécies vegetais e animais. A gestão eficiente da água é uma preocupação global crescente devido ao crescimento populacional, desenvolvimento econômico acelerado e à escassez hídrica exacerbada pelas mudanças climáticas. A proteção ambiental tornou-se uma prioridade para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos e minimizar os impactos negativos sobre o meio ambiente, especialmente considerando as transformações no ambiente para atender às necessidades humanas (CARDOSO et al., 2020; FIGUEIREDO et al., 2021; HAUBRICHT et al., 2019; KALIMUTHU et al., 2020).

Nesse contexto, a bacia hidrográfica se destaca como uma unidade crucial para a gestão da água. Ela é uma área territorial que compreende uma rede de drenagem onde a água se movimenta ao longo de canais que convergem para um único leito e ponto de descarga (exutório). O ciclo hidrológico dentro dessa bacia é moldado por esse sistema de drenagem, mas características topográficas e a cobertura vegetal podem influenciar significativamente a dinâmica desse ciclo (SILVA et al., 2018). As bacias hidrográficas são unidades territoriais essenciais para o planejamento ambiental, com suas características naturais — como relevo, geologia e classe de solo — determinando sua vulnerabilidade (ANDRADE et al., 2018; MOURA et al., 2023; SCHIAVETTI et al., 2002). Compreender essas características e a interação entre processos naturais e atividades humanas é fundamental para desenvolver estratégias eficazes de preservação e conservação dos recursos naturais, como água e solo (SANTOS et al., 2007).

Pereira et al. (2019) ressalta que a avaliação dos parâmetros físicos, como índices morfométricos, facilita o aproveitamento dos recursos

naturais e revela a relação entre solo e superfície. A morfometria, que estuda as formas e configurações da superfície da bacia, é uma ferramenta essencial para entender essas dinâmicas. Essa análise é expressa por índices que se dividem em categorias principais: características geométricas, da rede de drenagem e do relevo (CAMPANHARO, 2010).

A estrutura geomorfológica da bacia influencia o escoamento e o conhecimento detalhado desses fatores morfométricos é vital para compreender o comportamento hidrológico e a formação das bacias (EZE; JOEL, 2010; STRAHLER, 1964). A gestão eficiente depende do entendimento dessas características físicas, facilitando a avaliação das potencialidades e vulnerabilidades dos elementos presentes (RAWAT; MISHRA, 2016; ROSS, 2012; SANTOS E MARCHIORO, 2020). O uso inadequado da bacia, sem considerar a complexidade dos processos geomorfológicos e climáticos, pode resultar em problemas significativos que afetam tanto áreas urbanas quanto rurais (VENCESLAU; MIYAZAKI, 2019).

Conforme destacado por Gomes et al. (2017), o intenso crescimento populacional, o aumento das indústrias e atividades agropecuárias não supervisionadas têm levado à degradação significativa da água nas bacias hidrográficas, com uso excessivo e gestão inadequada dos recursos hídricos ao longo das últimas décadas. Além dos impactos físicos, é fundamental considerar os aspectos socioeconômicos das bacias. Indicadores como o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), PIB, renda per capita e população residente são essenciais para compreender como a ação humana explora os recursos da bacia e para identificar possíveis conflitos entre setores (SOUSA; LIMA, 2021). Dessa forma, a degradação ambiental não pode ser dissociada das dinâmicas socioeconômicas que moldam a gestão e o uso dos recursos hídricos.

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) desempenha um papel crucial ao integrar dados espaciais e realizar análises detalhadas, essenciais para a gestão sustentável da bacia (MENEZES; SALGADO, 2018). A geotecnologia oferece uma compreensão aprofundada da complexidade do ambiente, permitindo uma análise mais precisa da fragmentação e das interações no espaço geográfico (TAYLOR et al., 2019; SARKAR et al., 2020).

No contexto do agronegócio, o estado do Tocantins se destaca como um importante produtor de grãos, com um aumento significativo na área de colheita e na produção de soja (OLIVEIRA, 2018). O estado possui 30 bacias hidrográficas que contribuem para o rio Tocantins ou para o rio Araguaia. Apesar da relevância dos recursos hídricos, há uma carência de estudos sobre os componentes físicos e sociais das bacias, o que compromete a gestão eficaz dos recursos e pode intensificar conflitos entre setores usuários. O objetivo com este estudo foi apresentar o diagnóstico socioambiental das bacias hidrográficas da região Sudoeste do estado do Tocantins com a finalidade de identificar fatores naturais e antrópicos que caracterizam as diversas formas de interação e ocupação destas bacias hidrográficas ao longo do tempo.

MÉTODO E MATERIAIS

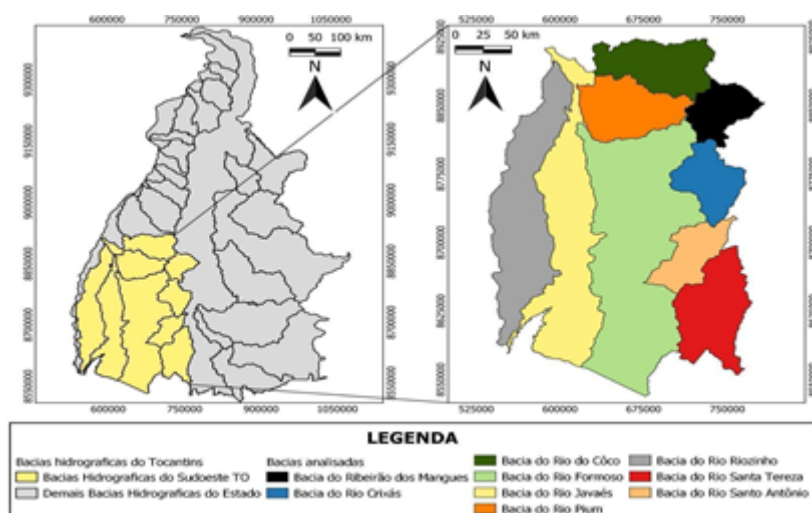
O estudo foi executado nas dependências do Laboratório de Prototipagem e Monitoramento Ambiental (LPMA) da Universidade Federal do Tocantins no Câmpus de Gurupi.

As bacias hidrográficas analisadas neste estudo compõem a região Sudoeste do estado do Tocantins (Figura 1) sendo composta pelas bacias dos rios Crixás (BHCR), Santa Teresa (BHST), Santo Antônio (BHSA) e Ribeirão dos Mangues (BHRM) drenando para o Rio Tocantins

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

e as bacias dos rios Côco (BHCO), Formoso (BHFO), Javaés (BHJA), Pium (BHPI) e Riozinho (BHRI) que drenam para o Rio Araguaia.

Figura 1 - Bacias hidrográficas da região Sudoeste do estado do Tocantins.



Fonte: Autor (2024).

Para tabulação de dados foi utilizado o pacote de ferramentas Action 2.8 ® associado ao software Excel ® em sua versão 2015. Foi empregado na execução das diversas etapas da pesquisa o software QGIS em sua versão 3.16 para análise espacial das diversas bases de dados.

Para caracterização dos dados socioeconômicos das bacias hidrográficas foi levantado junto à base de dados digital do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) as informações de IDH, renda per capita, Produto Interno Bruto, escolaridade, analfabetismo, setores econômicos relevantes e população residente. Os dados são disponibilizados por município (SEPLAN). Para estimar todas estas informações a nível de bacia hidrográfica foi aplicada a Equação 1.

$$indicador_i = \frac{\sum (indicador_i * Área_i)}{\sum Área_i}$$

Em que o indicador corresponde a variável socioeconômica de interesse para a bacia hidrográfica, o Indicador Imune representa o indicador no município e Área trata da área de influência do município e na bacia hidrográfica.

Para caracterização fisiográfica e morfométrica foram processados dados das bases da Secretaria de Planejamento do estado (SEPLAN) referentes a classes de solo e hidrografia para cada bacia hidrográfica analisada no presente estudo. Foram utilizadas imagens do sensor remoto ALOS PALSAR com resolução espacial de 12,5 metros captados por um radar de abertura sintética na banda L. As imagens compuseram um mosaico cobrindo as áreas das bacias analisadas. A partir desta base de dados foi construído o Modelo Digital de Elevação e obtidas as informações de relevo (altitude e declividade) que foram discretizados por bacia hidrográfica.

Como variáveis morfométricas foram calculados os índices: Fator de forma (K_f), Índice de Compacidade (K_c), Densidade de drenagem (D_d), Extensão média do escoamento superficial (C_m), Frequência de drenos (F_d) e Sinuosidade do curso d'água principal (S). Seguindo o método proposto por Villela e Mattos (1975).

A dinâmica temporal da variação da cobertura do solo nas sub-bacias estudadas foi analisada a partir dos produtos da coleção 8 do projeto MAPBIOMAS® para os anos de 2010 e 2022 que foram devidamente ajustados e recortados para cada uma das bacias hidrográficas analisadas.

DADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentadas as características morfométricas das bacias hidrográficas da região Sudoeste do Tocantins.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Tabela 1 - Características morfométricas das Sub-bacias hidrográficas do Sudoeste do Tocantins.

	BHRI	BHCO	BHPI	BHFO	BHRM	BHCR	BHSA	BHST	BHIA
Características Geométricas									
Área (km ²)	10958,1	5021,9	5063,8	20710,8	2808,5	3419,3	3066	5963,3	12364,0
Perímetro (km)	814,2	424,4	379,5	1069,7	290,9	320,34	332	479,7	1227,8
Kf	0,11	0,42	0,40	0,20	0,57	0,69	0,28	0,30	0,11
Kc	2,18	1,68	1,49	2,08	1,54	1,53	1,68	1,74	3,09
Características da Rede de Drenagem									
Número de rios	246	1447	505	2934	427	590	344	809	770
S	1,87	2,02	1,68	1,89	1,80	1,47	1,60	1,88	1,65
Dd	0,27	0,80	0,50	0,63	0,66	0,69	0,59	0,66	0,40
FD	0,02	0,29	0,10	0,14	0,15	0,17	0,11	0,14	0,06
Cm	0,94	0,31	0,50	0,40	0,38	0,36	0,42	0,38	0,63
Hipsometria									
Máx (m)	210	667	451	626	638	683	569	926	459
Mín (m)	147	152	148	131	186	196	209	213	136
Média (m)	173.27	227.33	191.82	228.15	301.14	262.67	264.41	280.85	193,1
Declividade									
Média (%)	3.91	6.31	4.94	5.40	8.39	5.28	5.36	5.95	4.70

Fonte: Autor (2024).

O fator de forma indica a tendência de uma determinada bacia hidrográfica estar sujeita a ocorrência de eventos de cheias. Verifica-se que em quase todas as Sub-Bacias apresentaram valores inferiores a 0,50 demonstrando que são áreas não propensas a ocorrência de enchentes. As Sub-bacias de Ribeirão dos Mangue e Crixás apresentaram valores de 0,57 e 0,69 significado que a média probabilidade de ocorrência deste tipo de evento.

Em relação ao coeficiente de compacidade, bacias com coeficiente mais altos tendem a ser mais alongadas. À medida que o coeficiente se aproxima de 1, mais circular é a forma da bacia e maior é a sua tendência a enchentes de grandes magnitudes. Quase todas as sub-bacias têm valores acima que 1,50, o que demonstra que são áreas

não sujeitas à ocorrência de fenômenos de grande enchentes, apenas a sub-bacia do Rio Pium com o valor de 1,49, expressou que existe uma média propensão a ocorrência de cheias de grande magnitude.

A sinuosidade do curso d'água principal revela que, à medida que o valor se aproxima de 1, o canal principal se torna mais retilíneo. Sendo assim, os valores obtidos para esse índice indicam que o curso d'água principal é mais sinuoso ao longo de todas as sub-bacias hidrográficas analisadas. Melo et al. (2020), afirmam que a sinuosidade é um fator diretamente relacionado à velocidade do fluxo, quanto mais sinuoso for o curso d'água, maior será a dificuldade de deslocamento da água, resultando em menores velocidades de escoamento. Por outro lado, em canais retilíneos, as velocidades de fluxo são maiores devido à menor presença de barreiras físicas (LOPES et al., 2022).

Conforme Souza et al. (2021), o parâmetro Dd permite classificar se a bacia apresenta uma drenagem deficiente ou excepcional. Os valores obtidos para este índice são inferiores a 5 km², o que indica que todas as sub-bacias apresentam uma baixa densidade de drenagem. De acordo com Smichowski e Contreras (2022), quanto maior o valor do Dd, mais rápida será a resposta da bacia em um evento extremo de precipitação, uma vez que, nessas condições, o escoamento da água ocorre com maior velocidade.

No que se refere a extensão média do escoamento superficial, cuja, as sub-bacias de maneira geral apresentaram valores considerados pequenos, apenas a sub-bacia Riozinho chegou a um valor de 0,94.

A maioria das bacias analisadas apresentou um relevo considerado suave ondulado com declividades variando entre 3% e 8% em média, o que sugere um relevo de menor inclinação, típico de áreas com pouca erosão e escoamento hídrico moderado. A BHRM, com uma declividade

média de 8,39%, apresentou um relevo ondulado, o que pode aumentar o potencial de erosão e o escoamento superficial.

A altitude máxima variou de 210 m (BHRI) a 926 m (BHST), o que reflete a diversidade topográfica das regiões analisadas. Essas altitudes influenciam diretamente o comportamento da rede de drenagem, sendo que áreas mais elevadas tendem a ter fluxos de água mais rápidos. A altitude média, por sua vez, varia de 173,27 m (BHRI) a 301,14 m (BHRM), o que dá uma ideia geral do relevo predominante em cada bacia. Conforme Luz et al. (2015), valores baixos de declividade no fundo do vale e em planícies de inundação, quando há vegetação ciliar presente, favorecem a infiltração das águas das chuvas, diminuindo o avanço dos processos erosivos. Entretanto, de acordo com os mesmos autores, a remoção desse tipo de vegetação intensifica o desenvolvimento de processos erosivos, pois as declividades baixas tornam essas áreas vulneráveis ao escoamento concentrado das águas pluviais.

Na tabela 2 são apresentados os dados de cobertura do solo para cada uma das sub-bacias hidrográficas estudadas para os anos de 2010 e 2022.

Tabela 2 - Classes de cobertura do solo para os anos de 2010 e 2022 para cada Sub-bacias hidrográficas do Sudoeste do Tocantins.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Bacias	Ano	Vegetação Nativa (km ²)	Áreas Agrícolas (km ²)	Pastagem (km ²)	Corpos D'água (km ²)	Área Urbana (km ²)
BHRI	2010	10761,6	78,9	78,9	84,91	0
	2022	10671,4 (-0,84)	78,9	147,9 (+87,39)	53,9 (-36,50)	0
BHPI	2010	3767,5	213,2	1050,5	23,4	2,9
	2022	3116,1 (-17,29)	601,5 (+182,10)	1317 (+25,37)	18,27 (-22,06)	3,2 (+6,40)
BHRM	2010	1249,7	326,7	1205,4	13,2	4,7
	2022	1070,4 (-14,35)	663,3 (+103,02)	1047,5 (-13,10)	12,7 (-3,34)	5,3 (+12,39)
BHCR	2010	1571,5	242,5	1582,7	8,0	3,7
	2022	1394,7 (-11,25)	741,5 (+205,83)	1262,8 (-20,21)	6,2 (-23,13)	4,0 (+9,46)
BHSA	2010	1126,9	245,4	1633,7	17,4	29,4
	2022	1021,6 (-9,35)	736,5 (+200,09)	1241,3 (-24,02)	17,4	35,8 (+21,84)
BHST	2010	2856,8	323,1	2730,5	37,9	2,9
	2022	2506,8 (-12,25)	1163,9 (+260,30)	2239,4 (-17,98)	34,0 (-10,30)	3,1 (+4,38)
BHFO	2010	11421,3	1732,4	7343,0	149,3	18,8
	2022	9828,6 (-13,95)	2650,1 (+52,97)	8074,9 (+9,97)	103,5 (-30,65)	22,2 (+18,00)
BHCU	2010	2450,05	280,05	2252,94	10,76	17,2
	2022	2094,8 (-14,50)	498,6 (+78,05)	2388 (+5,99)	7,9 (-25,93)	21,5 (+24,71)
BHJA	2010	9470,1	434,9	2312,5	134,9	1,5
	2022	9086,8(-4,05)	639,2 (+46,96)	2563,8 (+10,87)	71,5 (-47,02)	1,7 (+6,45)

Fonte: Autor (2024).

Entre 2010 e 2022, as alterações no uso e ocupação do solo nas sub-bacias hidrográficas revelam uma significativa reconfiguração das áreas destinadas a diferentes finalidades. Observa-se uma tendência geral de redução na área de vegetação nativa, que foi substituída principalmente por áreas agrícolas e pastagens. Por exemplo, a sub-bacia BHPI reduziu sua vegetação nativa em 17,29%, enquanto as áreas agrícolas cresceram 182,10%. Essa mudança indicou uma expansão das atividades agrícolas, possivelmente devido à demanda crescente por produção de alimentos e à pressão econômica para converter terras naturais em áreas produtivas.

As áreas de pastagem também aumentaram em diversas sub-bacias, como a BHFO, que registrou um crescimento de 9,97% nesse uso do solo. Esse aumento pode estar associado à intensificação da pecuária, uma vez que a produção de gado requer grandes áreas de pasto. Por outro lado, os corpos d'água geralmente mostraram uma redução em várias sub-bacias, como BHRI, que viu uma redução de 36,50% nesse tipo de área. A diminuição dos corpos d'água pode ser resultado da maior demanda por irrigação agrícola, da poluição ou da ocupação de áreas que anteriormente eram destinadas à recarga dos corpos hídricos.

A área urbana, embora tenha crescido modestamente em algumas sub-bacias como a BHSA, onde houve um aumento de 21,84%, ainda representa uma pequena fração do total, indicando que o crescimento urbano não foi tão acelerado quanto a expansão agrícola. No entanto, a expansão urbana, mesmo que limitada, pode exercer pressões adicionais sobre os recursos naturais e a infraestrutura das bacias hidrográficas. Essas mudanças no uso e ocupação do solo refletem as pressões econômicas e a transformação das atividades na região, evidenciando a necessidade de uma gestão integrada para equilibrar o desenvolvimento com a conservação ambiental e a manutenção da qualidade dos recursos hídricos e do ecossistema local.

Antunes et al. (2019) destacam que o aumento na produção agrícola geralmente está relacionado à incorporação de áreas anteriormente dedicadas à pecuária. Fernandes et al. (2015) complementam que esse crescimento de área está associado à disponibilidade de áreas com potencial de irrigação, como parte de um esforço sistemático para o aproveitamento dos recursos hídricos. A redução da cobertura vegetal nativa, juntamente com o uso intensivo da terra, leva à fragmentação da vegetação, criando mosaicos em seus limites. Consequentemente, a fragmentação da vegetação nativa resulta em impactos negativos para a conservação da biodiversidade local (FRANÇA et al., 2018).

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Na tabela 3 são apresentados os dados de população residente em cada sub - bacia analisada para os anos de 2010 e 2022.

Tabela 3 - População residente por sub - bacia hidrográficas do Sudoeste do Tocantins.

BACIAS DA REGIÃO SUDOESTE DO TOCANTINS		
SUB-BACIAS HIDROGRÁFICA	POPULAÇÃO (HAB.)	
	2010	2022
BHCO	48410	56712 (+17,15)
BHCR	8908	8343 (- 6,34)
BHFO	48979	52280 (+6,73)
BHJA	6 755	7742 (+14,61)
BHRM	12759	12738 (-0,16)
BHPI	11685	11348 (-2,88)
BHRI	3939	4757(+ 20,77)
BHSA	83341	91485 (+ 9,77)
BHST	6031	5673 (-5,93)

Fonte: Autor (2024).

A tabela 3 revela uma diversidade nas mudanças populacionais entre 2010 e 2022, que pode ser atribuída a uma série de fatores socioeconômicos e ambientais. As Sub-Bacias BHCO e BHRI experimentaram aumentos populacionais significativos, de 17,15% e 20,77%, respectivamente, possivelmente devido a melhorias na infraestrutura, atração de investimentos e desenvolvimento econômico local que incentivaram a migração para essas áreas.

Em contraste, Sub-bacias como BHCR e a BHST mostraram declínios populacionais de 6,34% e 5,93%, respectivamente, o que pode estar associado a fatores como a migração para áreas urbanas em busca de melhores oportunidades econômicas, degradação ambiental, ou a falta de serviços básicos e infraestrutura nas áreas rurais. Essas variações indicam como fatores econômicos, ambientais e de infraestrutura influenciam a dinâmica populacional nas bacias hidrográficas da região. Na tabela 4 são apresentados os dados

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

referentes ao Produto Interno Bruto e a renda per capita das sub-bacias para os anos de 2010 e 2021.

Tabela 4 - Dados de produto interno Bruto (PIB) e Renda Per capita das sub-bacias.

Sub-Bacia	PIB (R\$)		Renda <i>per capita</i> (R\$)	
	2010	2021	2010	2021
BHCO	85.447.762,37	304.002.055,06 (+255,78)	10.175,23	37.214,29 (+265,73)
BHCR	125.873.240,34	464.013.002,64 (+268,64)	12.630,51	65.162,94 (+415,92)
BHFO	113.553.176,93	521.519.661,43 (+359,27)	14.015,68	56.973,87 (+306,50)
BHJA	204.146.578,19	791.658.542,88 (+287,79)	18.680,03	59.229,61 (+217,07)
BHRM	406.431.187,16	1.809.423.953,98 (+345,20)	12.635,91	47.125,68 (+272,95)
BHPI	64.688.489,45	419.078.564,11 (+547,84)	10.036,84	45.626,82 (+354,59)
BHRI	160.397.371,84	1.089.619.917,15 (+579,33)	11.619,70	69.943,44 (+501,94)
BHSA	559.438.418,35	1.460.317.664,54 (+161,03)	16.927,25	71.668,49 (+323,39)
BHST	137.226.560,70	399.005.069,28 (+190,76)	19.749,51	72.767,22 (+268,45)

Fonte: Autor (2024).

A tabela 4 revela um crescimento notável na economia local e no bem-estar econômico da população entre os anos 2010 e 2021. As sub-bacias como BHRI e BHPI destacam-se com aumentos expressivos de 579,33% e 547,84% no PIB, respectivamente, sugerindo um desenvolvimento econômico acelerado que pode estar associado a investimentos significativos e crescimento das atividades econômicas locais voltadas principalmente para o agronegócio.

O crescimento da renda per capita também foi marcante, com BHRI e BHPI apresentando aumentos de 501,94% e 354,59%, respectivamente.

Em contraste, sub-bacias como BHSA e BHRM, apesar de apresentarem aumentos robustos de PIB, de 161,03% e 345,20%, tiveram um crescimento da renda per capita menos acentuado, indicando uma estabilização de renda entre seus habitantes.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO
DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

O aumento na renda per capita das sub-bacias BHST e BHFO, de 268,45% e 306,50%, também reflete um avanço significativo no nível de vida, embora o crescimento do PIB nessas áreas seja mais modesto comparado a outras sub-bacias.

Os resultados encontrados indicam um panorama de desenvolvimento econômico desigual, onde algumas regiões experimentaram um crescimento econômico mais acelerado, enquanto outras podem enfrentar desafios em termos de distribuição de renda e equidade econômica. No que tange aos setores que impulsionam a economia das sub-bacias, sobressaem-se as atividades do setor agropecuário, com destaque para as atividades agrícolas e pecuária, além do setor de serviços, especialmente nos municípios onde as sedes administrativas estão inseridas nas áreas das sub-bacias.

A tabela 5 apresenta os dados referentes à taxa de analfabetismo e Índice de Desenvolvimento Humano estimados para as sub-bacias no ano de 2010 e a taxa de escolarização para os anos de 2010 e 2021.

Tabela 5 - Dados de Taxa de Analfabetismo, Taxa de Escolarização e Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) das Sub-Bacias.

Bacia Hidrográfica	(IDH)	Taxa De Analfabetismo (%)	Taxa De Escolarização (%)	
	2010	2010	2010	2022
BHCO	0,65	16,82	96,68	98,49 (+1,87)
BHCR	0,67	13,69	97,11	98,78 (+1,72)
BHFO	0,67	14,57	96,34	98,33 (+2,07)
BHRM	0,72	10,83	98,11	98,75 (+0,65)
BHPI	0,65	18,59	93,19	97,63 (+4,77)
BHRI	0,65	17,56	93,45	98,22 (+5,11)
BHSA	0,71	11,44	97,23	98,93 (+1,75)
BHST	0,67	15,46	96,36	99,09 (+2,84)

Fonte: Autor (2024)

Em 2010, o Tocantins tinha uma taxa de escolarização de 98% e uma taxa de analfabetismo de 13,1%, enquanto o IDH do estado era 0,699. Comparando com o Brasil, onde a taxa de escolarização também era

elevada, próxima a 98%, a taxa de analfabetismo era significativamente menor, em torno de 9,6%, e o IDH médio era de 0,727. Isso indica que, apesar de uma alta taxa de escolarização no Tocantins, a taxa de analfabetismo era mais alta em comparação com a média nacional, refletindo desafios persistentes na inclusão e na qualidade da educação.

As sub-bacias analisadas mostram uma variação considerável em relação a essas médias. A BHRM, com um IDH de 0,72, apresenta uma taxa de escolarização de 98,75% e uma taxa de analfabetismo de 10,83%, superando a média estadual do Tocantins e se aproximando dos padrões nacionais em termos de escolarização, mas ainda com uma taxa de analfabetismo acima da média nacional. Por outro lado, a BHPI, com o IDH mais baixo de 0,65, enfrenta uma taxa de escolarização menor (97,63%) e a maior taxa de analfabetismo (18,60%), o que indica um desempenho inferior tanto ao nível estadual quanto nacional.

A BHCR e a BHST mostram avanços em escolarização com taxas de 98,78% e 99,09%, respectivamente, superando a média do Tocantins. No entanto, as taxas de analfabetismo dessas sub-bacias, de 13,69% e 15,46%, continuam acima da média nacional, indicando que, apesar das melhorias na escolarização, o analfabetismo persiste como um desafio significativo. Assim, enquanto algumas sub-bacias estão se aproximando ou superando as médias estaduais em termos de escolarização, todas ainda enfrentam desafios para atingir os padrões nacionais em redução do analfabetismo e qualidade educacional.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo das bacias hidrográficas da região sudoeste do Tocantins evidenciou tanto o potencial econômico quanto os desafios ambientais que essas áreas enfrentam. As análises morfométricas

indicaram que a maioria das sub-bacias possui baixa susceptibilidade a enchentes em condições normais de precipitação, mas a expansão agrícola tem contribuído para a degradação ambiental, como a perda de vegetação nativa e o aumento da fragmentação do solo, elevando os riscos de assoreamento dos rios.

O desenvolvimento econômico nas sub-bacias, impulsionado pela agropecuária, refletiu-se no aumento expressivo do PIB e da renda per capita entre 2010 e 2021, com destaque para as sub-bacias dos rios Riozinho, Pium e Formoso. Apesar desse crescimento, persistem desafios no que diz respeito ao desenvolvimento humano e à educação, especialmente nas sub-bacias com maiores índices de analfabetismo, como Pium.

A adoção de práticas sustentáveis no setor agrícola, aliada ao monitoramento hidrológico e à implementação de políticas públicas voltadas à educação, é fundamental para assegurar um desenvolvimento socioeconômico sustentável, que equilibre a preservação dos recursos naturais com a melhoria da qualidade de vida das populações locais.

REFERÊNCIAS

ALASKA SATELLITE FACILITY. ALOSPALSAR: RTC Hi-Res. Disponível em: < <https://search.asf.alaska.edu/>. > Acesso em: 5 mai. 2024.

ANDRADE, M. M.; KLEIN, D. R.; KREFTA, S. M.; VIEIRA, A. G.. Determinação da Fragilidade Ambiental de uma bacia hidrográfica pertencente ao município de Presidente Prudente, SP. Revista de Ciências Agroveterinárias, Lages, v. 17, n. 2, p. 278-285, 19 jul. 2018.

ANTUNES, J. F. G.; ESQUERDO, J. C. D. M.; COUTINHO, A. C.; SANTOS, J. L. DOS; PARIZZI, T. N. T.; BERTOLO, L. S. Análise das mudanças do uso e cobertura da terra no Estado de Mato Grosso por meio do geoportal TerraClass. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 19, 2019, Santos. Anais...Santos, 2019.

BAIA, A. R. S.; CORDEIRO, C. M. G., Mendes, L. M. da R., Sousa, N. M. de, Costa, R. S. ., & Ferreira, Y. M. O PROCESSO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA DO BAIXO TOCANTINS. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação, [S. l.], v. 8, n. 12, p. 657-665, 2022. DOI: 10.51891/rease.v8i12.8053. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/8053>. Acesso em: 19 jul. 2024.

CARDOSO, D. K.; FERNANDES, L. V. O.; FERNANDES, C. E.; FERNANDES, L. I. F. de A.; ARGOLO, E. D. Reutilização de água: uma alternativa para o desperdício e economia da água em residências / Water reuse: an alternative to waste and saving water in homes. Brazilian Journal of Development, [S. l.], v. 6, n. 5, p. 24566-24581, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n5-056. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/9566>. Acesso em: 15 jul. 2024.

CAMPANHARO, W. A. Diagnóstico físico da bacia do rio Santa Maria do Doce -ES. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Espírito Santo. Espírito Santo. 2010. 66f. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/8007>.

COSTA, F. R. S.; MONTEIRO, J. B. Secas, inundações e desastres socionaturais associados: uma análise estatística de períodos secos e chuvosos em Hidrolândia-CE. Revista de Geociências do Nordeste, p. 131-139, 2021. DOI: 10.21680/2447-3359.2021v7n2ID20625

EZE, E. B.; JOEL, E. Parâmetros morfométricos da bacia do rio Calabar: implicações para os processos hidrológicos. *Journal of Geography and Geology*, v. 2, n. 1, p. 19-26, 2010.

FIGUEIREDO, I.; ESTEVES, P.; CABRITA, P. Water wise: a digital water solution for smart cities and water management entities. *Procedia Computer Science*, v. 181, p. 897-904, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.245>.

FRANÇA, L. C. de J., DA SILVA, J. B. L., LISBOA, G. dos S., MUCIDA, D. P., CERQUEIRA, C. L., & SANTOS, E. L. (2018). ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA NA REGIÃO DO MATOPIBA, BRASIL. *Nativa, Sinop*, v. 6, n. especial, p. 737-744, dez. 2018.

FREIMAN, F. P., & CARVALHO, C. DE O. Modelagem espacial de áreas suscetíveis a inundações baseada em um modelo multicritério híbrido e Sistema de Informação Geográfica: um estudo de caso aplicado à bacia do Rio Bengalas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S. l.], v. 13, n. 3, p. 1145-1161, 2020. DOI: 10.26848/rbgf.v13.3.p1145-1161. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/243203>. Acesso em: 19 jul. 2024.

FRANCISCO, P. R. M.; SILVA, V. F.; BORGES, I. M. S.; PESSOA, D. DE S. Space-temporal dynamics of coverage and use of agricultural settlement land in semi-arid region. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, v.12, n.5, p.359-368, 2022.

FERNANDES, M. R. DE M.; MATRICARDI, E. A. T.; ALMEIDA, A. Q. DE; FERNANDES, M. M. Mudanças do uso e de cobertura da terra na região semiárida de Sergipe. *Floresta Ambient.*, v.22, n.4, p.472-482, 2015.

HAUBRICHT, D.M.; CAIONI, C.; COCHEV, J.S.; NEVES, S.M.A.; DALLACORT, R.; SILVA, A.C.S. Dinâmica da paisagem da Microbacia Novo Horizonte, Amazônia Meridional. *Acta Iguazu*, Cascavel, PR, v.8, n.1, p.32-40, 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Portal Cidades. Disponível em < <https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 5 de março de 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010. Disponível em < <https://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 5 de março de 2024.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. PNAD – Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9127-pesquisa-nacional-por-amostrade-domicilios.html?edicao=18338>> . Acesso em: 5 de março de 2024.

JOIA G., L. de M.; VANTIL, S. F.; DOS SANTOS, I. C. L.; VIEIRA, E. M.. Uso Do Geoprocessamento Para Análise De Parâmetros Da Qualidade Da Água: Estudo De Caso Na Bacia Hidrográfica Do Rio Piracicaba-MG (Use of GIS for quality parameters water analysis: A case study in the hydrographic basin of Piracicaba-MG river). *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S. l.], v. 10, n. 3, p. 812-825, 2017.

KALIMUTHU, M.; PONRAJ, A. S.; CHRISTY JACKSON, J. Water management and metering system for smart cities. *Int. J. Sci. Technol. Res.*, v. 9, n. 4, p. 1367-1372, abr. 2020.

LOPES, I.; RAMOS, C. M. C.; LEAL, B. G. Caracterização morfométrica de bacia hidrográfica no semiárido de Pernambuco através de dados SRTM em softwares livre. *Journal Of Hyperspectral Remote Sensing*, v. 8, n. 1, p. 31-40, 2018

LOPES, J. R. A.; BEZERRA, J. M.; ALMEIDA, N. M. D. P.; COSTA, H. C. G.; FERNANDES, G. S. T.; GONÇALVES, G. L.; MENDONÇA, S. S. C.; OLIVEIRA JÚNIOR, M. E. Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica do Açude Grande no semiárido do RioGrande do Norte. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 15, n. 1, p. 429-442, 2022.

LUZ, T. E.; LIMA, E. B. N. R.; SALOMÃO, F. X. T.; LIMA, Z. M. Morfopedologia aplicada à concepção de obras em microbacia do perímetro urbano de Várzea Grande-MT. *Ambiente e Agua -An Interdisciplinary Journal Of Applied Science*, v. 10, n. 3, p. 646-659, 2015.

MAPBIOMAS – Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil. Coleções – MapBiomias. Disponível em <<https://brasil.mapbiomas.org/downloads/>>. Acesso em: 20 de novembro de 2023.

MOURA, B. B.; BRESSAN, L. M.; WOJAHN, V. de S.; BOEIRA, L. dos S.; TERRA, V. S. S. Análise da Fragilidade Ambiental em uma Sub-Bacia Hidrográfica na Metade Sul do Rio Grande do Sul com o uso de geoprocessamento. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S.L.], v. 16, n. 5, p. 2375-2389, 1 out. 2023.

MELO, D. O. S.; SANTOS, L. S.; BARBOSA, A. G.; MENDES, L. A. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do rio Real pelo uso de dados SRTM e tecnologias SIG. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 07, p. 3554-3570, 2020.

OLIVEIRA, N. M. DE. Produção Agropecuária Agregada: Uma Aplicação Para o Estado do Tocantins. *DESAFIOS - Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins*, v. 5, n. 1, p. 135-147, 2018.

RAWAT, K.S.; MISHRA, A.K. Evaluation of relief aspects morphometric parameters derived from different sources of DEMs and its effects over

time of concentration of runoff (TC). *Earth Science Informatics*, v. 9, n. 4, p. 409-424, 2016.

PEREIRA, C. F. P.; BRITO, G. H. M.; VESPUCCI, I. L.; ROCHA, I. J. F. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio dos Patos, GO. *Ipê Agronomic Journal*, v. 3, n. 1, p. 5-13, 2019.

PROGÊNIO, M. F.; BLANCO, C. J. C. Cumulative distribution function of daily rainfall in the Tocantins-Araguaia hydrographic region, Amazon, Brazil. *Natural Resource Modeling*, v. 33, n. 2, p. e12264, 2020. DOI: 10.1111/nrm.12264.

SARKAR, T., KANNAUJIYA, S., TALOOR, A.K., RAY, P.K.C., CHAUHAN. Integrated Study of GRACE Data Derived Interannual Groundwater Storage Variability over Water Stressed Indian Regions. *Groundwater for Sustainable Development*, , v. 10, p. 100376. abr. 2020.

SANTOS, G. V.; DIAS, H. C. T.; SILVA, A. P. S.; MACEDO, M. N. C. Análise hidrológica e socioambiental da bacia hidrográfica do córrego Romão dos Reis, Viçosa-MG. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 931-940, out. 2007.

SILVA, A. C. O. et al. A spatio-temporal Bayesian Network approach for deforestation prediction in an Amazon rainforest expansion frontier. *Spatial Statistics*, v. 35, p. 100393, mar. 2020.

SILVA, G. C.; ALMEIDA, F.; ALMEIDA, R.; MESQUITA, M.; JUNIOR, J. A. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do riacho Rangel-Piauí, Brasil. *Enciclopédia Biosfera*, v. 15, n. 28, nov. 2018.

SMICHOWSKI, H.; CONTRERAS, F. I. Análise morfométrica de la cuenca río Santa Lucía (Corrientes, Argentina). *Revista Geográfica de América Central*, v. 1, n. 70, p. 297-320, 2022. DOI: 10.15359/rgac.70-1.11

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

SCHIAVETTI, Alexandre; CAMARGO, Antonio F. M.. Conceitos de bacias hidrográficas : teorias e aplicações. Ilheus: Equipe Editus, 2002. 293 p. Disponível em:

http://www.uesc.br/editora/livrosdigitais2015/conceitos_de_bacias.pdf.

SOUSA, F. W. A.; LIMA, M. F. Diagnóstico socioambiental da porção oeste da bacia hidrográfica do Rio guaribas, Piauí. Revista da Academia de Ciências do Piauí, Teresina, v. 2, n. 2, p. 87-104, 2021

SOUZA, E. G. F.; NASCIMENTO, A. H. C.; CRUZ, E. A.; PEREIRA, D. F.; SILVA, R. S.; SILVA, T. P.; FREIRE, W. A. Delimitação e caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, Pernambuco, a partir de dados SRTM processados no QGIS. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 14, n. 3, p. 1530-1540, 2021

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transactions: American Geophysical Union, v. 38, p. 913-920, 1957.

STRAHLER, A.N. Quantitative geomorphology of drainage basins and channel networks. In: CHOW, V.T. (org.). Handbook of applied hydrology. Nova York: McGraw Hill Book Company, 1964. p. 4-11.

TALLOOR, A. K. et al. Spring water quality and discharge assessment in the Basantar watershed of Jammu Himalaya using geographic information system (GIS) and water quality Index(WQI). Groundwater for Sustainable Development, v. 10, p. 100364, abr. 2020.

VENCESLAU, F. R.; MIYAZAKI, L. C. P. Processos, análises e gestão de bacias hidrográficas em ambientes urbanos: o caso do córrego São José – Ituiutaba/MG. Geografia em Atos (Online), Presidente Prudente, v. 2, n. 9, p. 71-92, 2019.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: MvGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

WATTS, J.; LAWRENCE, R.; MILLER, P.; MONTAGNE, C. Monitoring of cropland practices for carbon sequestration purposes in north central Montana by Landsat remote sensing. Remote Sensing of Environment, v. 113. P. 1843-1852, 2009.

FINANCIAMENTO

“O presente trabalho foi realizado com o apoio da FAPT.”

Capítulo 8

ECOTOXICIDADE DO INSETICIDA NEONICOTINÓIDE CLOTIANIDINA EM PLANÁRIA *Girardia tigrina* COMO BIOINDICADOR DE EFEITOS LETAIS E SUBLETAIS

Ayumi Lima Takahashi¹

Jessica Soares Pereira²

Renato de Almeida Sarmento³

RESUMO

O uso extensivo de inseticidas, especialmente a clotianidina, tem causado contaminação significativa do solo e da água, afetando ecossistemas aquáticos e terrestres. A clotianidina, um neonicotinóide, é eficaz no controle de pragas, mas também apresenta riscos para polinizadores e outras espécies não-alvo. Estudos mostram que a clotianidina pode prejudicar a estrutura e a função das comunidades naturais, afetando não apenas insetos, mas também peixes e aves. Para avaliar esses impactos, foram realizados ensaios ecotoxicológicos com planárias da espécie *Girardia tigrina*, que são usadas como bioindicadores devido à sua simplicidade de manutenção e sensibilidade a xenobióticos. Foram realizados testes agudos e crônicos para determinar a concentração letal (CL50) e os efeitos subletais da clotianidina, analisando parâmetros como locomoção, regeneração e reprodução. Os resultados indicaram que altas concentrações de clotianidina (39.47) mg/L afetaram negativamente a locomoção das planárias e a regeneração das aurículas. Além disso, a taxa de fecundidade e fertilidade das planárias foi reduzida com o aumento das concentrações de clotianidina. Esses dados evidenciam a necessidade de implementar medidas para reduzir o impacto ambiental dos inseticidas e proteger a biodiversidade. As pesquisas continuam sendo fundamentais para desenvolver técnicas de remediação e conservação mais eficazes.

Palavras-chave: Ecotoxicologia; Clotianidina; Neonicotinoide; Planárias (*Girardia tigrina*).

¹ Graduanda em Engenharia de Bioprocesso e Biotecnologia, Bolsista de Iniciação Científica com o Pibic, Universidade Federal do Tocantins, Campus de Gurupi, email: ayumi.takahashi@mail.uft.edu.br

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

² Doutora em Fitotecnia, Agronomia -Fitotecnia, Universidade Federal do Ceará (UFC), Campus do Pici, Fortaleza. Pós-doc no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus de Gurupi, e-mail: soares.jessica@mail.uft.edu.br

³ Doutor em Entomologia pela Universidade Federal de Viçosa, professor do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Tocantins (UFT), Campus de Gurupi, Gurupi, e-mail: rsarmento@mail.uft.edu.br

INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira tem se expandido significativamente nas últimas décadas. De acordo com o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), em janeiro de 2022, o agronegócio brasileiro começou o ano com um superávit de US\$8,69 bilhões na balança comercial, superando o saldo total de US\$2,61 bilhões. As exportações do setor alcançaram um recorde de US\$10,22 bilhões, registrando um aumento de 16,4% em relação ao mesmo período do ano anterior. As importações também cresceram 37,1%, somando US\$1,53 bilhão. A soja foi o principal motor das exportações em janeiro de 2022, mesmo sendo um mês típico de entressafra. O milho representou 17,3% do total exportado pelo setor, gerando US\$1,77 bilhão dos US\$10,22 bilhões exportados no primeiro mês do ano (IPEA, 2023).

O estado do Tocantins tem registrado um expressivo crescimento na produção de grãos nos últimos anos. De acordo com o 3º Levantamento da Safra 2021/22 de Grãos, divulgado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a produção no estado alcançou 5,89 milhões de toneladas, representando um aumento de 6,7% em relação à safra anterior. Esse resultado é atribuído tanto ao aumento da produtividade, que subiu de 3.397 kg/ha para 3.482 kg/ha, quanto à expansão da área cultivada, que pode chegar a 1,69 milhão de hectares. Além disso, o clima favorável tem sido um fator crucial para o avanço da semeadura no Tocantins (CONAB, 2023).

Estudos revelam que apenas cerca de 5% dos neonicotinoides aplicados nas sementes são efetivamente absorvidos pelas plantas, enquanto o restante é perdido por remoção ou lixiviação (ROYATE, 2021). Esses compostos químicos persistem no solo e em corpos d'água, expondo uma ampla variedade de espécies da vida selvagem aos seus efeitos prejudiciais.

O uso indiscriminado de inseticidas na agricultura, aliado ao manuseio inadequado, tem se tornado uma grave fonte de contaminação do solo e da água, comprometendo a conservação de ecossistemas terrestres e aquáticos. Com o aumento da demanda global por alimentos, observou-se um crescimento expressivo no uso de agrotóxicos (FAO, 2017). Entre os inseticidas mais utilizados no tratamento químico de sementes, destaca-se a clotianidina, um neonicotinóide cuja aplicação tem aumentado significativamente (BRANCALIONE et al., 2021).

Avaliar os impactos da clotianidina no meio ambiente é essencial para o desenvolvimento de estratégias de remediação e conservação. Embora eficaz no controle de pragas agrícolas, os neonicotinoides, como a clotianidina, são amplamente reconhecidos por seus efeitos prejudiciais em polinizadores e outras espécies não-alvo. Pesquisas recentes indicam que a clotianidina pode alterar a estrutura e o funcionamento de comunidades naturais em ambientes aquáticos e terrestres, afetando não apenas insetos, mas também organismos como peixes e aves.

No campo da ecotoxicologia de água doce, as planárias da espécie *Girardia tigrina* (Paludicola, Dugesiiidae) têm sido empregadas como organismos bioindicadores de contaminação ambiental. Esses invertebrados aquáticos permitem a medição de parâmetros comportamentais (locomoção), regenerativos (regeneração da

cabeça, aurículas e fotorreceptores) e reprodutivos (fecundidade e fertilidade) (OFOEBU et al., 2019; SARAIVA et al., 2020).

Estudos indicam que parâmetros como sobrevivência, alimentação, regeneração e reprodução das planárias são aspectos fundamentais para sua utilização como organismos bioindicadores de contaminação por xenobióticos (DORNELAS et al., 2021; PESTANA; OFOEGBU, 2021; DORNELAS et al., 2022). Além disso, as planárias são de fácil manutenção em laboratório, o que reduz custos e facilita a obtenção de dados ecotoxicológicos (WANG et al., 2022). Esses fatores tornam as planárias candidatas apropriadas para testes em ecotoxicologia (KHAN et al., 2022).

A identificação dos efeitos tóxicos da clotianidina pode servir como base para o desenvolvimento de técnicas de remediação de solos e águas contaminados por esse inseticida, além de orientar a implementação de medidas para a conservação da biodiversidade impactada por seu uso.

MÉTODO E MATERIAIS

Ensaio Ecotoxicológicos

Os ensaios ecotoxicológicos foram realizados no laboratório de Ecotoxicologia da Universidade Federal do Tocantins (UFT – Campus de Gurupi), a partir de protocolos previamente estabelecidos neste laboratório. Para os bioensaios com *G. tigrina* (planária) foram avaliados o Efeito Letal (CL50) e posteriormente o Efeito Subletal: a Locomoção, Regeneração e Reprodução.

Bioensaios com *Girardia tigrina*

A cultura de planárias da espécie *G. tigrina* foi obtida do laboratório de Ecotoxicologia da Universidade de São Paulo e está sendo cultivada no Laboratório de Ecotoxicologia (Grupo de pesquisa laboratório de Fitossanidade) da Universidade Federal do Tocantins (UFT – Campus Gurupi). Indivíduos de *G. tigrina* são mantidos em caixas de cultura, contendo 1,5 L de meio ASTM (ASTM, 1980), sendo provido de aeração constante. Esta criação é mantida em uma sala climatizada a 22 ± 1 °C. Os organismos são alimentados semanalmente com fígado bovino, com posterior renovação do meio.

Para realização do teste agudo foram selecionados organismos de 8 mm ($\pm 0,1$ mm). Os organismos selecionados para o teste devem ser privados de alimento uma semana antes da realização dos experimentos. Para determinação da concentração letal (CL50) soluções experimentais de clotianidina foram preparadas a partir da diluição de uma solução estoque em meio ASTM e como controle foi utilizado apenas o meio ASTM. Parâmetros físico-químicos como oxigênio dissolvido, pH, condutividade e temperatura foram mensurados a partir dessas soluções. O experimento foi conduzido em placas de Petri ($\varnothing = 90$ mm), contendo 20 mL das concentrações, utilizando cinco organismos por placa, sendo 5 réplicas por tratamento. A mortalidade de *G. tigrina* foi avaliada após período de 24, 48 e 96 horas de exposição (em sistema estático a 22 ± 1 °C). As planárias que apresentaram imobilidade quando expostas à luz ou o corpo (total ou parcialmente) degenerado foram consideradas mortas.

Para os ensaios crônicos, foram utilizadas planárias de 0,8mm ($\pm 0,1$ mm) de comprimento que foram expostas durante 8 dias a cinco tratamentos (concentrações nominais) de clotianidina, definidas a partir de 10% do valor de CL50 encontrada no teste agudo, além do controle ASTM. Para cada tratamento, foram usadas três réplicas, contendo 12 organismos por réplica utilizados nos testes de

locomoção, regeneração e alimentação. As planárias acabaram expostas em frascos de vidro de 200 mL, com 100 mL de solução experimental. A exposição ocorreu em ambiente controlado a 22 ± 1 °C, em sistema estático e no escuro (MACEDO et al., 2019).

Locomoção

Após a exposição de 8 dias às soluções experimentais de clotianidina, a velocidade de locomoção (pLMV) de *G. tigrina* foi avaliada. Planárias foram colocadas individualmente em um recipiente de alumínio de 75 cm de diâmetro, contendo papel milimétrico ao fundo e meio ASTM em quantidade que favorece a locomoção do organismo. Os organismos foram colocados no centro do papel milimétrico, possibilitando sua livre locomoção. Cada linha ultrapassada no papel milimétrico equivale a 0,5 cm, ao passo que o pLMV será determinado ao final de 3 minutos de avaliação (BARBOSA et al., 2022).

Regeneração

Após a exposição aos tratamentos, doze planárias por tratamento foram decapitadas com um único corte atrás das aurículas com lâmina de bisturi previamente esterilizadas. Após a decapitação, as planárias foram transferidas para placas de Petri com 20 mL de meio ASTM. A avaliação foi realizada durante 8 dias a cada 24 horas, onde foi mensurado o comprimento do blastema (mm), e a cada 12 horas verificado a formação de fotorreceptores e aurículas, com o auxílio de um microscópio estereoscópio (DORNELAS et al., 2021). A ausência ou presença de fotorreceptores e aurículas foi registrada em cada repetição, e os resultados foram apresentados como uma média de dias necessários para formação (SIMÃO, 2020; DORNELAS et al., 2021).

Reprodução

Para o experimento, foram selecionadas planárias adultas em idade reprodutiva ($1,4 \pm 0,8$ cm de comprimento total) e expostas por quatro semanas. O design experimental consistiu de 4 réplicas, dispostas em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 10 organismos por réplica, expostos em frascos de vidro contendo 100 mL de solução experimental, a qual foi substituída a cada semana por uma nova solução, após alimentação com fígado bovino.

Os organismos foram mantidos a $22\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$ no escuro. Durante a exposição para avaliação de reprodução, foi avaliado o número de casulos e planárias-filhas como descrito por KNAKIEVICZ et al. (2006). A taxa de fecundidade (Fc) foi determinada pelo número de casulos produzidos por semana, dividido pelo número de planárias expostas. A taxa de fertilidade (Fr) foi determinada pelo número de planárias produzidas por indivíduos ou pares por semana (DORNELAS et al., 2020, 2021).

Análises estatísticas

As análises dos testes agudos foram conduzidas utilizando o programa Minitab® com a análise Probit. Já os efeitos subletais foram avaliados por meio do teste One-way ANOVA com teste de comparação múltipla de Dunnett. Ambas as análises foram executadas por meio do software GraphPad Prism versão 6.0 para Windows (GraphPad Software, La Jolla, Califórnia, EUA).

DADOS E DISCUSSÃO

Efeito na locomoção de *G. tigrina* após a exposição a clotianidina

As concentrações 11.69 mg/L⁻¹, 17.57 mg/L⁻¹ e 26.31 mg/L⁻¹ ao medir a velocidade locomotora de *G. tigrina* por meio da contagem do número de linhas cruzadas após a exposição à clotianidina (Figura 1), não apresentaram diferença significativa em relação ao controle. Por outro lado, é possível observar que a concentração 39,47 mg/L⁻¹ exibiu uma diferença significativa em comparação ao tratamento controle.

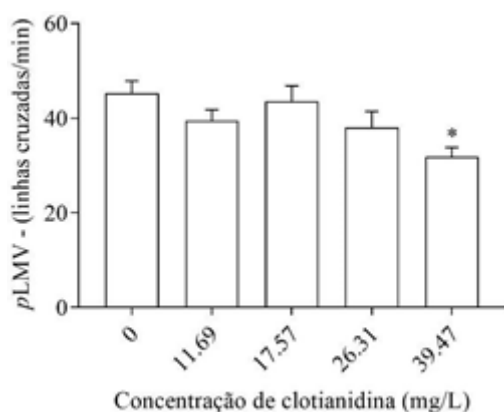


Figura 1- Atividade locomotora de *G. tigrina* contando o número de linhas de grade cruzada em 3 min de exposição à clotianidina.

Os resultados deste estudo demonstram que a clotianidina, um neonicotinóide amplamente utilizado na agricultura, pode ter efeitos deletérios na locomoção e na capacidade regenerativa de *G. tigrina*, mesmo em concentrações consideradas como subletais. A redução significativa na velocidade locomotora observada nas maiores concentrações sugere um impacto neurotóxico, que possivelmente pode afetar a transmissão de sinais nervosos e a coordenação motora, como sugerido por estudos anteriores (SANCHEZ-BAYO; GOKKA, 2014).

Efeitos na regeneração de *G. tigrina* após a exposição a clotianidina.

A concentração de 39.47 mg/L⁻¹, no período de 24 horas, apresentou resultado significativo em relação ao controle, atrasando

assim a regeneração. Do mesmo modo, quando observamos o período de 48 horas, a regeneração do blastema indicou que as concentrações 26,31 e 39,47 mg/L⁻¹ apresentaram diferenças significativas em comparação ao controle (Figura 2).

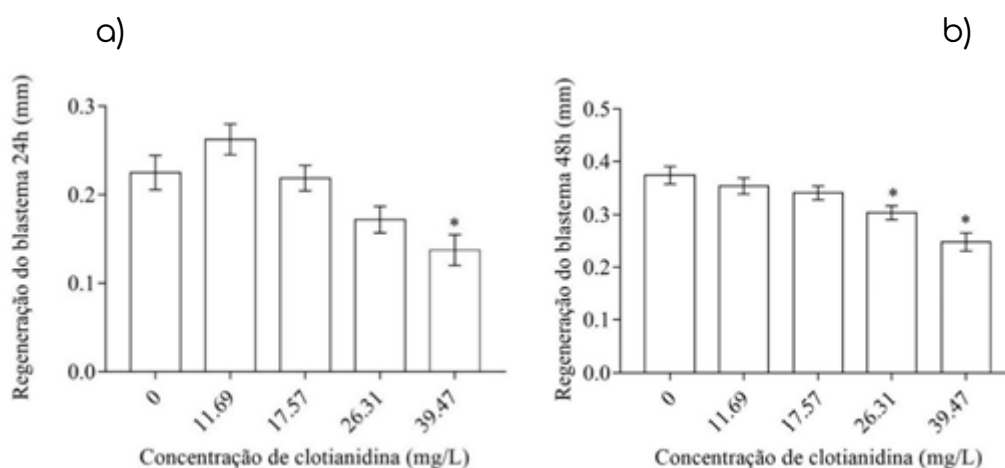


Figura 2- Regeneração do blastema em resposta ao efeito da exposição às concentrações de clotianidina sobre *G. tigrina*, após (a) 24 horas. (b) 48 horas de exposição.

A regeneração dos fotorreceptores não apresentou um atraso significativo com o aumento das concentrações de clotianidina em comparação ao controle, exceto na concentração 39,47 (Figura 3). No entanto, houve diferenças significativas na regeneração das aurículas, com as concentrações 17,57, 26,31 e 39,47 mg/L⁻¹ apresentando variações notáveis em relação ao tratamento controle.

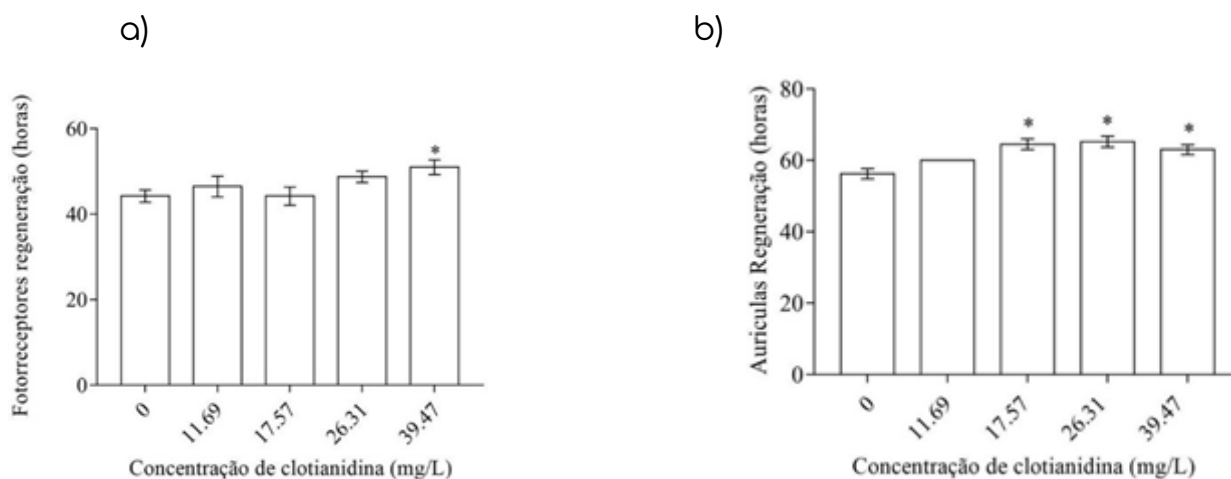


Figura 3 - Efeitos de concentrações subletais de clotianidina na regeneração de *G. tigrina*. (a) Regeneração dos fotorreceptores. (b) Regeneração das aurículas. As concentrações referem-se ao ingrediente ativo clotianidina.

A clotianidina pode atrasar o crescimento do blastoma em planárias ao inibir a proliferação celular, interferir no ciclo celular e induzir a ocorrência de apoptose. Ela também pode modificar vias de sinalização essenciais para a sobrevivência das células tumorais. Por outro lado, o estudo de Cesarini et al. (2023) revelou que a exposição a nano plásticos (NPs) em *Girardia tigrina* resultou em uma diminuição no comprimento do blastema e atraso na regeneração da cabeça. Ambos os estudos destacam como diferentes agentes, seja a clotianidina ou os NPs, podem afetar processos celulares críticos e a regeneração em planárias.

A capacidade regenerativa da planária não foi significativamente prejudicada pela exposição ao pesticida clotianidina. Não obstante a isso, de forma geral é possível constatar que ele afetou a regeneração dos fotorreceptores e das aurículas, cujos componentes são essenciais para a função sensorial e a manutenção estrutural das planárias. A exposição prolongada à clotianidina resultou em uma regeneração mais lenta e menos eficiente desses componentes, indicando que o pesticida compromete a capacidade das planárias de reparar e restaurar essas partes vitais. Essa redução na regeneração pode impactar negativamente a sobrevivência e o bem-estar das planárias, prejudicando sua adaptação ao ambiente.

Nossos resultados apresentam-se como consistentes com estudos anteriores que exibem a toxicidade de neonicotinoides em organismos aquáticos. Rundén-Prien e Hansson (2013) documentaram efeitos adversos desses pesticidas em peixes e invertebrados, destacando a capacidade da clotianidina de causar danos

significativos. Contudo, a maioria desses estudos focou em efeitos agudos, retratados como impactos do tipo imediatos. O estudo atual é particularmente relevante ao avaliar os efeitos crônicos da utilização de clotianidina, e os impactos de longo prazo na regeneração das planárias. Isso é crucial, pois efeitos subletais podem ter implicações graves para a saúde e a sobrevivência dos organismos, mesmo que não sejam imediatamente evidentes. Além disso, o estudo se alinha com pesquisas sobre os efeitos a longo prazo da clotianidina em zebrafish, um modelo frequentemente usado na toxicologia.

Efeito na reprodução e fertilidade de *G. tigrina* após a exposição a clotianidina

A taxa de fecundidade de *G. tigrina* diminuiu significativamente com o aumento das concentrações de clotianidina (mg/L). É possível ressaltar que houve um aumento considerável apenas para a concentração de 39,47 mg/L⁻¹ deste composto (Figura 4), concentrações elevadas do inseticida não apenas diminuem a quantidade de ovos produzidos, mas também podem comprometer a qualidade e o desenvolvimento tanto dos ovos quanto das larvas.

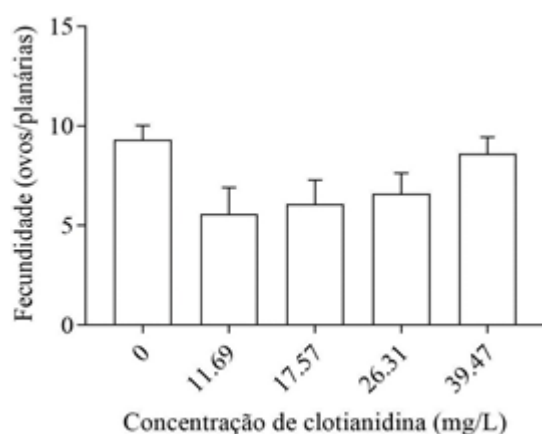


Figura 4 – Fecundidade de *G. tigrina* após quatro semanas de exposição à clotianidina.

A exposição às concentrações testadas desse inseticida teve um impacto significativo na taxa de fertilidade de *G. tigrina* (Figura 5). Houve uma redução expressiva em comparação com o controle, sendo a queda mais acentuada observada na concentração de 17,57mg/L⁻¹.

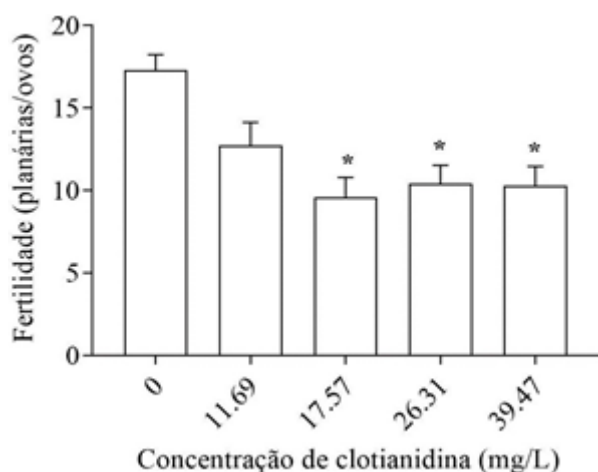


Figura 5 – Fertilidade de *G. tigrina* após quatro semanas de exposição à clotianidina.

A clotianidina pode afetar a fecundidade e fertilidade das planárias de maneira dose- dependente. Em concentrações medianas, a clotianidina interfere na proliferação celular e regulação hormonal, resultando em um atraso na fecundidade e fertilidade das planárias. Reis et al. (2022) confirmou em pesquisas uma diminuição significativa na taxa de fecundidade de *G. tigrina* com o aumento das concentrações de Regent 800 WG® ($F(5,10) = 4,875$; $p < 0,05$; $R = 0,7187$), com NOEC em 6,25 mg/L⁻¹ e LOEC em 12,5 mg/L⁻¹, enquanto a taxa de fertilidade não foi significativamente afetada em concentrações mais baixas ($F(5,9) = 1,886$; $p > 0,05$; $R = 0,213$), o ingrediente ativo do Regent 800 WG® é o fipronil, um composto químico que atua eficazmente como inseticida e herbicida.. Nossos dados refletem de forma clara que concentrações muito altas de clotianidina podem causar efeitos tóxicos extremos, levando a morte ou falha completa na reprodução, dificultando a observação de efeitos específicos, como a redução da

quantidade de ovos postos, diminui a porcentagem de ovos que eclodem com sucesso e o atraso do desenvolvimento das larvas. Esses efeitos específicos comprometem a fecundidade e a eficiência reprodutiva das planárias.

A taxa de fecundidade de *G. tigrina* também diminuiu significativamente com o aumento das concentrações de pesticida, com uma queda acentuada na concentração de 17,57 mg L⁻¹, evidenciando o impacto diferencial da dose sobre a taxa de fertilidade e fecundidade. Portanto, a variação na resposta reflete a complexidade dos efeitos da clotianidina e de pesticidas sobre a saúde reprodutiva dos organismos do tipo planárias analisados nesse estudo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios ecotoxicológicos realizados com a planária *G. tigrina* revelaram efeitos distintos da clotianidina, um pesticida amplamente utilizado, sobre diferentes aspectos da biologia do organismo. Os testes de efeito letal determinaram a concentração letal (CL50) da clotianidina, enquanto os bioensaios de efeito subletal forneceram uma visão abrangente sobre como o pesticida afeta a locomoção, regeneração e reprodução das planárias. Os resultados indicam que a exposição a concentrações elevadas de clotianidina tem impactos significativos na locomoção, regeneração e reprodução de *G. tigrina*. A análise da locomoção revelou que, enquanto concentrações menores não apresentaram diferenças significativas em relação ao controle, a concentração de 39,47 mg/L⁻¹ apresentou um efeito adverso claro. Na regeneração, a concentração 39,47 mg/L⁻¹ também demonstrou uma redução notável no processo regenerativo das aurículas e uma alteração nos fotorreceptores, enquanto concentrações mais baixas causaram efeitos variáveis. A reprodução foi particularmente afetada, com a taxa de fecundidade e fertilidade

de *G. tigrina* apresentando reduções significativas em resposta às concentrações mais altas de clotianidina. Os dados obtidos fornecem evidências significativas sobre os impactos ambientais da clotianidina, destacando a importância de um gerenciamento criterioso de seu uso para reduzir os riscos aos ecossistemas aquáticos.

REFERÊNCIAS

DOS REIS, Eloisa Borges et al. Responses of Freshwater Planarian *Girardia tigrina* to Fipronil-Based Insecticide: Survival, Behavioral and Physiological Endpoints. *Diversity*, v. 14, n. 9, p. 698, 2022.

CESARINI G, COPPOLA F, CAMPOS D, VENDITTI I, BATTOCCHIO C, DI GIULIO A, MUZZI M, PESTANA JLT, Scalici M (2023) Exposição a nanoplásticos inibe alimentação e atrasa regeneração em uma planária de água doce. *Environ Pollut* 332:121959. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121959>

MACEDO, L. P. R. et al. Comparative ecotoxicological evaluation of peracetic acid and the active chlorine of calcium hypochlorite: Use of *Dugesia tigrina* as a bioindicator of environmental pollution. *Chemosphere*, v. 233, p. 273–281, 2019.

KNAKIEVICZ, T. et al. Reproductive modes and life cycles of freshwater planarians (Platyhelminthes, Tricladida, Paludicula) from southern Brazil. *Invertebrate Biology*, v. 125, n. 3, p. 212–221, 2006.

Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Agronegócio brasileiro começa 2023 com superávit de US\$ 8,69 bilhões. IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/portal/categorias/45-todas-as-noticias/noticias/13523-agronegocio->

[brasileiro-comeca-2023-com-superavit-de-us-8-69-bilhoes>](#). Acesso em: 12 de maio de 2023.

BARBOSA, R.S.; ROTILI, E.A.; SANTOS, A.M.A.; RIBEIRO, F.; DORNELAS, A.S.P.; PEREIRA, D.H.; CAVALLINI, G.S.; SOARES, A.M.V.M.; SARMENTO, R.A.; GRAVATO, C. Eco(toxicological) Assessment of the Neonicotinoid Formulation Actara® Using Planarian *Girardia tigrina* as Model Organism. *Pollutants*, 2022, 2, 546-555. <https://doi.org/10.3390/pollutants2040035> CONAB. (2022). Tocantins: produção de grãos na safra 2021/22 tende a superar 5,5 milhões de toneladas no estado. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/4432-tocantins-producao-de-graos-na-safra-2021-22-tende-a-superar-5-5-milhoes-de-toneladas-no-estado>>. Acesso em: 12 de maio de 2023.

DORNELAS, A.S.P; SARMENTO, R.A; SARAIVA, A.S.; BARBOSA, R.S.; VIEIRA, M.M.; GRAVATO, C.; SOARES, A.M. Effects of two biopesticides and salt on behaviour, regeneration and sexual reproduction of the freshwater planarian *Girardia tigrina*. *J. Hazard. Mater.* 2021, 404, 124089. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124089>

DORNELAS, A. S. P., DE JESUS FERREIRA, J. S., SILVA, L. C. R., DE SOUZA SARAIVA, A., CAVALLINI, G. S., GRAVATO, C. A. S., ALMEIDA SARMENTO, R. The sexual reproduction of the nontarget planarian *Girardia tigrina* is affected by ecologically relevant concentrations of difenoconazole: new sensitive tools in ecotoxicology. *Environmental Science and Pollution Research*, n. 0123456789, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-18423-0>

FAO. Food and agriculture organization of the united nations: Global assessment of the impact of plant protection products on soil functions and soil ecosystems, Rome. 2017.40p.

BRANCALIONE, J.; GRACIANI, T.S.; BANDEIRA, F.O.; ALVES, P.R.L. Influências do tipo de solo no potencial tóxico de clotianidina para *folsomia cãndida*. JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA. v.1 n.11 (2021). <https://portaleventos.uffs.edu.br/index.php/JORNADA/article/view/15820>

PESTANA, J.L.T.; OFOEFBU, P.U. Ecotoxicity Assays Using Freshwater Planarians. In: Palmeira, C. M. M.; Oliveira, D. P.; Dorta, D. J. (eds) Methods in Molecular Biology. Springer Prtocols [s. l.], v. 2.240, p. 125-137. 2021. <https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1091-6>

ROYATE. (2021). Inseticidas amplamente utilizados também podem ser uma ameaça aos mamíferos. Disponível em: <https://www.nationalgeographicbrasil.com/meio-ambiente/2021/02/inseticidas-amplamente-utilizados-tambem-podem-ser-uma-ameaca-a-mamiferos> Acesso em: 2 de março de 2024.

WANG, Q., SUN, X., XIAO, J., KONG, Z., PANG, L., DONG, Z., LIU, D. Djptpn11 is indispensable for planarian regeneration by affecting early wound response genes expression and the Wnt pathway. Biochimie, 201, 184-195, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2022.07.007>

KHAN, U. W., NEWMARK, P. A. Somatic regulation of female germ cell regeneration and development in planarians. Cell reports, 38(11), 110525, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2022.110525>

OFOEGBU, P. U., CAMPOS, D., SOARES, A. M., PESTANA, J. L. Combined effects of NaCl and fluoxetine on the freshwater planarian, *Schmidtea mediterranea* (Platyhelminthes: DugesIIDae). Environmental Science and Pollution Research, 26, 11326-11335, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04532-4>

SARAIVA, A. S., SARMENTO, R. A., GRAVATO, C., RODRIGUES, A. C., CAMPOS, D., SIMÃO, F. C., SOARES, A. M. Strategies of cellular energy allocation to cope with paraquat-induced oxidative stress: Chironomids vs Planarians and the importance of using different species. *Science of the Environment*. v. 741, p. 1-10, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140443>

SIMÃO, F.C.P, GRAVATO, C., MACHADO, A.L, SOARES, A.M.V.M, PESTANA, J.L.T. Toxicity of different polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) to the freshwater planarian *Girardia tigrina*. *Environ Pollut*. 266:115185, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115185>

SANCHEZ-BAYO, Francisco; GOKA, Koichi. Pesticide residues and bees—a risk assessment. *PloS one*, v. 9, n. 4, p. e94482, 2014. RUNDÉN-PRIEN, K.; HANSSON, L.-A. Neonicotinoids and aquatic ecosystems: a review of the current state of knowledge. *Environmental Science & Pollution Research*, v. 20, n. 11, p. 8129-8163, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04532-4>

FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Federal do Tocantins e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Tocantins – Fapt.

Capítulo 9

BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA COM ZINCO LÍTIO NA PRESENÇA DE SUBSTÂNCIAS HÚMICAS EM PLANTAS DE ALFACE VIA ADUBAÇÃO FOLIAR

Ihago Junior Ferreira da Silva ¹

Ildon Rodrigues do Nascimento ²

RESUMO

O crescimento populacional tem aumentado a demanda por alimentos, mas também traz desafios nutricionais, como a "fome oculta", que afeta bilhões de pessoas pela falta de micronutrientes, como zinco (Zn) e lítio (Li). O Zn é essencial para o sistema imunológico e o crescimento humano, enquanto o Li auxilia na saúde mental e no desenvolvimento das plantas. A biofortificação agronômica, que enriquece os alimentos com nutrientes via adubação ou melhoramento genético, é uma estratégia eficaz para combater a deficiência de micronutrientes. Essa técnica é acessível, barata e traz benefícios rápidos às culturas. A alface, principal hortaliça consumida no Brasil, pode ser biofortificada com Zn e Li, tornando-se uma solução viável para suprir a carência desses nutrientes na população. No estado do Tocantins, a alface é cultivada principalmente por pequenos produtores, e a biofortificação pode ser uma estratégia econômica e nutritiva para essa cultura de ciclo curto e fácil produção. O objetivo do trabalho foi verificar o efeito da aplicação de zinco, lítio e suas combinações na presença de substâncias húmicas em plantas de alface. O experimento foi instalado em sistema hidropônico na chácara 3 irmãos e os tratamentos foram: testemunha, aplicação de zinco; aplicação de lítio, aplicação de substância húmica, zinco junto com lítio, zinco junto com substância húmica, lítio com substância húmica e zinco com lítio e substância húmica. As características avaliadas foram: diâmetro do caule, número de folhas, comprimento do caule, massa fresca das folhas, volume da cabeça e massa fresca das plantas. A aplicação de zinco na presença de substância húmica afetou as características diâmetro da cabeça, número de folhas, massa fresca das folhas, volume da cabeça e massa fresca das plantas de forma negativa quando comparada aos outros tratamentos. Comparado com a testemunha os tratamentos e considerando a característica diâmetro da cabeça, número de folhas, massa fresca das folhas, volume da cabeça e massa fresca das plantas a biofortificação da alface é recomendado quando se usa apenas lítio mais zinco sem a presença de substância húmica. A alface pode ser considerada a principal hortaliça folhosa, pois é a mais produzida e consumida no

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Brasil e no restante do mundo. Também é uma espécie eficiente na absorção de metais, inclusive o zinco e também o lítio. Dessa forma, pode ser importante fonte desse nutriente quando biofortificada, auxiliando na dieta da população em geral, bem como de pessoas com dietas especiais. Os teores dos nutrientes nas folhas aguardam resultados do laboratório.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L; hortaliça Folhosa; Enriquecimento com micronutrientes.

¹ Graduando em Bacharelado em Agronomia, Pibic/CNPq, Universidade Federal do Tocantins, ihago.silva@mail.uft.edu.br

² Engº Agrônomo Dr. em Genética e Melhoramento de Plantas, Professor UFT – Campus de Gurupí, e-mail: ildon@uft.edu.br

INTRODUÇÃO

A crescente demanda por alimentos no Brasil e no mundo tem sido ocasionada principalmente com o aumento da população mundial a cada ano, que exige conseqüentemente, uma maior produção agrícola. Diante desse cenário, também surgem problemas sociais como a grande quantidade de pessoas que passam fome e possuem alguma deficiência nutricional em seu organismo, que pode ser pela falta de micronutrientes e vitaminas, como vitamina A, ferro, iodo, selênio e zinco (KACHINSKI, 2020).

No entanto, o aumento da produção agrícola resultou em outra problemática, a qualidade nutricional dos alimentos, que causa a ingestão inadequada de micronutrientes de mais de 2 bilhões de pessoas nos países em desenvolvimento (CLEMENS, 2014). A deficiência de micronutrientes, conhecida também como ‘fome oculta’, é menos aparente, porém, mais disseminada do que a deficiência de proteínas em humanos (GREGORY et al., 2017). O zinco (Zn) é um micronutriente que possui diversas funções biológicas fundamentais no corpo humano, atuando no sistema imunológico, participa de várias

atividades enzimáticas, no crescimento, desenvolvimento e manutenção dos tecidos corporais (GRACIANO et al., 2020) e o lítio (Li) é um oligomineral que ajuda na manutenção da saúde de pessoas que sofrem de mal de Alzheimer, Transtorno bipolar, estabiliza o humor. E sua principal fonte de consumo é por meio dos vegetais.

Nos últimos anos, tem se buscado estratégias que visem suprir a quantidade adequada de nutrientes necessários ao organismo humano, para manter seu metabolismo saudável e solucionar esse problema de desnutrição que atinge grande parte da população mundial. E a biofortificação dos alimentos, é uma técnica que pode contribuir com o aumento da ingestão diária adequada de micronutrientes, excepcionalmente o Zn e Li, que em déficit afeta um terço da população (SALTZMAN et al., 2013; KACHINSKI, 2020).

A biofortificação é uma técnica que pode ser alcançada agronomicamente ou geneticamente, através da inserção de nutrientes na adubação das culturas via foliar ou solo e/ou através do melhoramento genético das culturas visando o aumento das concentrações de nutrientes nos órgãos de interesse (REYES, 2017), esta prática pode ser considerada como uma ótima alternativa para solucionar as problemáticas até então abordadas. Além do fornecimento de nutrientes essenciais à população, a biofortificação agrônômica é um procedimento mais barato, acessível e os resultados podem ser obtidos em um curto período de tempo, e proporciona à cultura alvo melhorias em seu crescimento e desenvolvimento (OLIVEIRA, 2018).

O zinco é um importante elemento no metabolismo vegetal, pois desempenha funções em várias reações específicas enzimáticas, contribui para a tolerância da planta a fatores de estresse ambiental (BROADLEY, 2012), está envolvido na síntese protéica, metabolismo dos carboidratos e auxinas, e é necessário para a formação de alguns

aminoácidos, como o triptofano, importante precursor do ácido indol acético (AIA) (ANGELINI, 2018).

O lítio possui efeitos que são benéficos para o desenvolvimento e crescimento das plantas, além de auxiliar na redução de estresse na planta quando se encontra diante de condições adversas que prejudicam o seu desenvolvimento metabólico.

Com origem na região do mediterrâneo, a alface (*Lactuca sativa* L.) é uma planta herbácea, que pode apresentar folhas lisas ou crespas, ter formação ou não de “cabeça” e coloração em vários tons de verde/roxo, a depender da cultivar (ROSSI, 2017; SALA, 2011). A alface é a principal hortaliça folhosa consumida no Brasil e no mundo, sendo considerada de grande importância econômica devido ao grande volume de produção (YURI et al., 2016). De acordo com a Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas, a área estimada de cultivo no Brasil é de aproximadamente 39 mil ha, explorada em todo território nacional (ABCSEM, 2012).

No estado do Tocantins a produção de alface tem sido expressiva, porém, são bastante restritas as informações referentes aos dados de área de produção, produtividade e consumo per capita da cultura. Segundo Alencar et al. (2012), grande parte do cultivo de alface no Tocantins é realizada por pequenos produtores rurais que tem como fonte de renda, a comercialização dessa hortaliça folhosa.

Estudos apontam que a aplicação de zinco via foliar visando a biofortificação, é uma técnica promissora em várias culturas como, milho (CHEAH et al., 2020; OLIVEIRA, 2018), arroz (BATISTA et al., 2018), feijão e trigo (ANGELINI, 2018), soja e trigo (INOCÊNCIO, 2014), milho-verde (OLIVEIRA, 2019), cebola (GRACIANO et al., 2020), no entanto, poucos estudos estão relacionados com a aplicação foliar de zinco na cultura da alface.

A alface é uma hortaliça de consumo in natura que biofortificada com zinco e lítio pode suprir a demanda desse micronutriente para a população. Dessa forma, a biofortificação agronômica pode ser uma estratégia viável economicamente, pois a produção da cultura é de baixo custo, possui ciclo curto e pode ser cultivada em todas as épocas do ano.

MÉTODO E MATERIAIS

O experimento foi conduzido na área de sistema hidropônico na Chácara 3 irmãos no município de Gurupi-Tocantins, localizada na latitude 11°37'28" S e longitude 49°01'31" W com altitude média de 283 m.

A formação das mudas foi realizada utilizando em espuma fenólica, dispostas em uma caixa de isopor fechada com o objetivo de retenção de luz para a quebra de dormência, e quando estas apresentaram a germinação, foram transplantadas para o berçário. Foram utilizados adubos solúveis em água de acordo com a necessidade nutricional das cultivares.

O experimento será conduzido em delineamento experimental de inteiramente casualizados com oito tratamentos, os quais foram: uma fonte de Zn (Quelato), uma fonte de Li (Sulfato de Lítio), uma fonte de Substância húmica (Su: Leonardita), testemunha e as combinações Li + Zn, Li + Su, Zn + Su e Li + Zn + Su com quatro repetições. As doses aplicadas foram 72,50 g/ha⁻¹ Quelato de Zinco, 50g/ha⁻¹ Sulfato de Lítio e 120 g L⁻¹ de Substância húmica (Leonardita). As parcelas foram formadas por cinco plantas e a parcela útil foi formada por três plantas centrais.

O experimento foi instalado em perfil hidropônico para cultivo de alface. Cada perfil tem capacidade para 15 plantas e em cada perfil foram avaliadas três parcelas com seus respectivos tratamentos. Os

nutrientes que a planta precisa para desenvolvimento e produção foram fornecidos por solução nutritiva balanceada para cultivo de alface. Durante a condução do experimento, foi realizado o manejo de pragas, doenças, conforme a necessidade da cultura.

As aplicações de Zn e Li via foliar nas plantas de alface, foram realizadas por meio de uma bomba de CO₂, 7 dias após o transplante das mudas. Para evitar a ocorrência de deriva, no momento da aplicação, foi utilizada ao redor da parcela uma cortina plástica com 1,0 m de altura.

A colheita foi realizada aos 45 dias após o transplante das mudas para os perfis e as características avaliadas foram: Massa médias das plantas (g planta⁻¹); Diâmetro de cabeça (DC) (cm); Número de folhas (NF); Massa fresca das folhas (MFF g planta⁻¹); Comprimento do caule (CC) (cm); e Volume de cabeça (VC) (cm³).

Com os valores médios das características, foi realizada a análise de variância. As médias foram comparadas por teste de Scott-Knott. As análises estatísticas foram feitas com o software SISVAR (FERREIRA, 2011).

DADOS E DISCUSSÃO

A biofortificação agronômica tem sido estudada em várias hortaliças. A alface por ser uma hortaliça folhosa apresenta grande potencial para absorver e acumular os nutrientes nas folhas. Neste trabalho não foi possível avaliar os teores dos nutrientes nas folhas e nos demais órgãos das plantas. Por isso a discussão e apresentação dos resultados será baseada no efeito das fontes de zinco, lítio, substâncias húmicas e suas combinações em características agronômicas de plantas da alface.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Para diâmetro de cabeça, houve a formação de dois grupos de médias (Tabela 1). O menor valor observado foi quando aplicou o zinco na presença de substância húmicas (18,00 cm), que diferiu de todas as médias. O diâmetro de cabeça é uma característica importante para a alface do tipo crespa, considerando a preferência do consumidor para cabeças de maior tamanho na aquisição do produto. No comércio, o diâmetro de cabeça da alface para ser aceito pelo consumidor deve ser de no mínimo 20 cm.

Tabela 1 – Diâmetro da cabeça (DC em cm), número de folhas (NF), comprimento do caule (cm), massa fresca das folhas (em g), volume da cabeça (VC em cm³) e massa fresca da planta de alface submetida a fertilizantes fonte de zinco, lítio substâncias húmicas e suas combinação. Gurupi – TO, 2024.

Tratamentos	DC	NF	CC	MFF	VC	MFP
Testemunh	28,83	20,00 a	12,03	80,26 a	301,07 a	133,77
a	a					a
Zinco (Zn)	29,50	21,33 a	12,06	74,90 a	225,80	137,55 b
	a				a	
Lítio (Li)	26,83	20,66 a	10,53	67,40 a	193,54 a	114,55
	a					a
Húmica (Hu)	29,50	22,33 a	13,10	86,20 a	258,06 c	149,22
	a					a
Zn+Li	28,66	20,33 a	11,30	60,06 a	193,55 a	123,33
	a					a
Zn+Su	18,00 b	15,67 b	11,70	49,87 b	148,39 b	115,60 b
Li+Zn	28,16 a	19,33 a	10,80	66,13 a	172,04 a	101,66 b
Li+Zn+Su	28,00	18,33 a	10,03	57,66 a	150,53 b	108,89
	a					b
C.V. (%)	9,76	10,64	13,74	16,81	12,09	18,89

Letras diferentes na coluna indicam diferenças significativas pelo teste de Scott e Knott (1977) entre os tratamentos nas características

avaliadas em plantas de alface cultivar Vera. Onde não tem letras não houve diferenças significativas pelo teste.

Para o número de folhas nas plantas os valores variaram de 15,67 à 22,33, com formação de dois grupos. O grupo onde foi observado menor número de folhas foi no tratamento que recebeu zinco junto lítio (Tabela 1). O ideal é que uma planta de alface tenha um maior número de folhas, pois é uma característica que compromete muito a produtividade. Porém vale ressaltar que muitas folhas e folhas pequenas não são uma relação ideal.

Para comprimento do caule não houve diferença significativa entre os tratamentos. Vale ressaltar que a característica comprimento do caule é um fator importante para definir a adaptação de uma cultivar ao local de cultivo. Segundo Sala & Costa (2012), as características das plantas de alface como o diâmetro e a altura, são importantes pois fornecem informações, para o acondicionamento das plantas para o transporte em caixas plásticas ou de madeira. Na produção de alface, o número de folhas é uma característica importante e está intimamente associado à temperatura do ambiente de cultivo e ao fotoperíodo (OLIVEIRA et al., 2004).

Para massa fresca da folha apenas o tratamento que recebeu zinco junto lítio diferiu dos demais (Tabela 1). De acordo com Oliveira et al. (2003) dentre as características de produção da alface, pode-se destacar o número de folhas por planta e a massa fresca da planta inteira, as que podem ser influenciadas pela cultivar, fotoperíodo, temperatura e pelo manejo nutricional da cultura. Segundo Sala & Costa (2012) em geral as cultivares de alface crespa tropicalizadas apresentando boa produção de massa foliar e crescimento rápido, sendo considerada o tipo de cultivar mais plantado no Brasil.

O volume de cabeça variou de 150,03 a 301,07, com formação de dois grupos (Tabela 1). O grupo com os menores valores foi formado pelos tratamentos que receberam zinco associado com lítio e o outro tratamento foi a combinação zinco, com lítio e substância húmica. O volume da cabeça indica o tamanho do produto comercial e está relacionado com o comportamento morfológico da planta ao local e ao trato cultural recebido. Esse é um processo que pode não ocorrer, formando assim, cabeças mal formadas e/ou sem formação de cabeças o que resulta em menor volume.

De maneira geral, houve diferença para massa fresca da planta, com destaque para os tratamentos testemunha, lítio, substância húmicas, zinco com lítio e zinco com substância húmica que ficaram no grupo de tratamentos com maiores médias é diferente dos demais tratamentos (Tabela 1). A massa fresca de plantas de alface tem relação direta com a produtividade. Blat et al. (2011) estudando o desempenho de cultivares de alface crespa encontraram massa fresca de 118,7 g planta⁻¹. Já Suinaga et al. (2013) obtiveram massa fresca comercial de 682,5 g planta⁻¹. Estes resultados mostram que a utilização dos tratamentos não promovem redução da massa fresca das plantas, estando os valores dentro dos padrões aceitos comercialmente.

A alface pode ser considerada a principal hortaliça folhosa, pois é a mais produzida e consumida no Brasil e no restante do mundo. Também é uma espécie eficiente na absorção de metais, inclusive o zinco e também o lítio. Dessa forma, pode ser importante fonte desse nutriente quando biofortificada, auxiliando na dieta da população em geral, bem como de pessoas com dietas especiais. Para que a biofortificação agrônômica seja sustentável é necessário conhecer uma série de informações. Os teores e acúmulo do Zn pela alface podem variar em função da quantidade de fertilizante aplicado, da cultivar, da época de cultivo e do desenvolvimento da planta. Assim, são necessários estudos para avaliar a produção e qualidade de

cultivares de alface sob doses crescentes do zinco no solo em diferentes épocas de cultivo.

As substâncias húmicas são compostas de ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina, principais componentes da matéria orgânica do solo, cuja ação no metabolismo e crescimento das plantas, têm sido atribuída principalmente à ação dos ácidos fúlvicos de menor peso molecular, influenciando a absorção e transporte de nutrientes. Os efeitos provocados pelo ácido fúlvico, são atribuídos a sua ação como auxina, hormônio vegetal relacionado com expansão celular e outros efeitos fisiológicos. Nesse trabalho esse efeito será medido quando os resultados das análises de laboratório estiverem concluídos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de zinco na presença de substância húmica afetou as características diâmetro da cabeça, número de folhas, massa fresca das folhas, volume da cabeça e massa fresca das plantas de forma negativa quando comparada aos outros tratamentos.

Comparado com a testemunha os tratamentos e considerando a característica diâmetro da cabeça, número de folhas, massa fresca das folhas, volume da cabeça e massa fresca das plantas a biofortificação da alface é recomendado quando se usa apenas lítio mais zinco sem a presença de substância húmica.

A alface pode ser considerada a principal hortaliça folhosa, pois é a mais produzida e consumida no Brasil e no restante do mundo. Também é uma espécie eficiente na absorção de metais, inclusive o zinco e também o lítio. Dessa forma, pode ser importante fonte desse nutriente quando biofortificada, auxiliando na dieta da população em geral, bem como de pessoas com dietas especiais.

REFERÊNCIAS

ABCSEM. Associação Brasileira do Comércio de Mudanças e Sementes (2020).

ALENCAR, T. A. S.; TAVARES, A. T.; CHAVES, P. P. N.; FERREIRA, T. A.; & NASCIMENTO, I. R. Efeito de intervalos de aplicação de urina bovina na produção de alface em cultivo protegido. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 7, n. 3, p. 12, 2012.

ANGELINI, B. G. 2018. Enriquecimento de sementes de feijão e trigo com zinco através da aplicação foliar do micronutriente. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo. Piracicaba – São Paulo. 69 p. 2018.

BATISTA, M. E. P.; MORAES, M. F.; ALVES, L. V. F. V. Estratégia de adubação para biofortificação agronômica com zinco em arroz de terras altas. In: X Mostra da Pós-Graduação: Direitos Humanos, trabalho coletivo e redes de pesquisa na Pós Graduação. 2018.

BROADLEY, M. R.; BROWN, P.; ÇAKMAK, I.; RENGEL, Z.; ZHAO, F. Function of nutrients: micronutrients. In: Marschner, P. Marschner's mineral nutrition of higher plants. 3 th ed. Londres: Academic Press, p. 191-248, 2012.

CLEMENS, STEPHAN. Zn and Fe biofortification: the right chemical environment for human bioavailability. *Plant Science*, v. 225, p. 52-57, 2014.

COSTA, C. P.; SALA, F. C. A evolução da alfacultura brasileira. *Horticultura Brasileira*, v. 23, n. 1, jan./mar. 2005.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO
DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

GRACIANO, P. D.; JACINTO, A. C.; P.; SILVEIRA, A. J.; Castoldi, R.; LIMA, T. M.; CHARLO, H. C. O.; SILVA, I. G.; MARIN, M.V. Agronomic biofortification with zinc in curly lettuce cultivars. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 15, n.4, e8456, 2020.

GREGORY, P. J.; WAHBI, A.; GYAMFI, J.A.; HEILING, M.; GRUBER, R.; JOY, E. J. M.; BROADLEY, M. R. Approaches to reduce zinc and iron deficits in food systems. *Global Food Security*, v. 15, p. 1-10, 2017.

HENZ, G. P.; SUINAGA, F. Tipos de alface cultivados no Brasil Brasília: Embrapa Hortaliças, 2009. 7 p. (Comunicado técnico, n. 75).

INOCENCIO, M. F. Frações de zinco no solo e biofortificação agrônômica com selênio, ferro e zinco em soja e trigo. Tese (Doutorado em Ciência do Solo), Universidade Federal de Lavras-UFLA, Lavras, Minas Gerais. 88p. 2014.

KACHINSKI, W. D.; VIDIGAL, J. C. B.; ÁVILA, F. W. Zinco no solo, na planta e a saúde humana: uma revisão. *Research, Society and Development*, v. 9, n. 7, p. e827973544-e827973544, 2020.

OLIVEIRA, F. S. Biofortificação agrônômica do milho verde com ferro e zinco. 2019. Dissertação (Mestrado em Horticultura Tropical). Programa de Pós-Graduação em Horticultura Tropical. Universidade Federal de Campina Grande. Pombal – Pernambuco, 2019.

OLIVEIRA, R. C.; SILVA, J. E. R.; AGUILAR, A. S.; LUZ, J. M. Q. Uso de fertilizante organomineral no desenvolvimento de mudas de rúcula. *ACSA, Patos*, v. 14, n. 1, p. 1-6, 2018.

REYES, S. M. R. Aplicação foliar de zinco na biofortificação de rúcula. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Faculdade de Ciências

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Filho, Jaboticabal. 40 p., 2017.

ROSSI, C. M. A. 2017. Qualidade físico-química e sensorial das alfaces das cultivares Romanela e Rubinela produzidas em diferentes sistemas de cultivo. 84 p. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento rural) – Universidade Federal de São Carlos, Araras, São Paulo, 2017.

SALAS, F. C.; COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. *Horticultura Brasileira*, v. 30, n. 2, p. 187-194, 2012.

SCHUMACHER, P.V; MOTA, J.H; YURI J.E; RESENDE, G.M: Competição de cultivares de alface em Jataí-GO. *Horticultura Brasileira* v. 30 n. 2. S2727-S2731. 2012

SALTZMAN, A; BIROL, E.; BOUIS, H. E.; BOY, E.; MOURA, FF.; ISLAM, Y; PFEIFFER, W. H. Biofortification: Progress toward a more nourishing future. *Global Food Security*, v. 2, n. 1, p. 9– 17, 2013.

YURI, J. E.; MOTA, J. H.; DE RESENDE, G. M.; DE SOUZA, R. J. Nutrição e adubação da cultura da alface. In: PRADO, R. M.; CECÍLIO FILHO, A. B. Nutrição e adubação de hortaliças. Jaboticabal: FCAV/CAPES, p. 559-577, 2016.

FINANCIAMENTO

O trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

Capítulo 10

EFICIÊNCIA DO *TRICHODERMA* NO BIOCONTROLE E COMO PROMOTOR DE CRESCIMENTO VEGETAL NA CULTURA DO MILHO

Vitoria Gomes Parente¹

Lillian França Borges Chagas²

RESUMO

Os insumos biológicos têm sido cada vez mais demandados no manejo de grandes culturas, tanto no Brasil quanto globalmente. No Brasil, diversos produtos microbianos estão registrados, destacando-se o fungo do gênero *Trichoderma*, que é amplamente utilizado no controle de patógenos do solo e como promotor do crescimento vegetal. Assim, o objetivo do projeto foi avaliar a eficiência de isolados de *Trichoderma* spp. no biocontrole e como promotores de crescimento vegetal em milho, através da capacidade de solubilização de fosfato e síntese de ácido indol acético e monitorar o efeito da inoculação dos fungos em casa-de-vegetação. Para avaliação a eficiência de *Trichoderma* spp. no biocontrole de *Sclerotium rolfsii*, *Macrophomina* sp., *Rhizoctonia* sp. e *Fusarium* sp. *virens* foi utilizada a técnica de pareamento de colônias do patógeno e controlador biológico. As espécies de *Trichoderma* mostraram que utilizam de diferentes formas de antagonismo. O *Trichoderma*, com destaque para o isolado *T. virens*, demonstrou alta eficácia tanto no controle de patógenos do solo. Nos testes de antagonismo em cultura pareada, ele foi efetivo na redução do crescimento micelial de patógenos como *Fusarium*, *Macrophomina*, *Sclerotium rolfsii* e *Rhizoctonia*, comprovando seu alto potencial antagônico. Além disso, o *T. virens* se destacou na solubilização de fosfato, o que facilita a absorção de nutrientes essenciais pelas plantas, resultando em maior crescimento e biomassa nas plantas tratadas. Esses resultados reforçam a eficácia do *Trichoderma virens* como agente de biocontrole e promotor de crescimento vegetal, tornando-o uma ferramenta promissora para uma agricultura mais sustentável e eficiente.

Palavras-chave: Biopesticida; Produtividade; Microbiologia.

¹ Graduando em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Pibic/CNPq, Universidade Federal do Tocantins, gomes.vitoria@mail.uft.edu.br.

² Professora no curso de Agronomia da Universidade Federal do Tocantins, lillianfbc@uft.edu.br

INTRODUÇÃO

Produtos biológicos estão em crescente demanda no manejo de grandes culturas no Brasil e no mundo, onde o mercado global de biopesticidas, avaliado em US\$ 6,387 bilhões em 2017, está previsto para atingir US\$ 16,7 bilhões até 2024, com uma taxa de crescimento anual composta (CAGR) de 15%. Existem diferentes produtos microbianos registrados no Brasil, e entre estes destaca-se o fungo pertencente ao gênero *Trichoderma*, tanto para o controle de patógenos radiculares ou habitantes do solo e substrato como promotores de crescimento vegetal (MASCARIN et al., 2019).

Os fungos apresentam alta diversidade genética (PLESSIS et al., 2018) e podem ser usados para produzir uma ampla variedade de produtos de interesse. As espécies de *Trichoderma* se adaptam a vários ecossistemas, onde desempenham um papel importante na saúde dos biogeocenose. Esses fungos são componentes predominantes da microbiota tanto em solos nativos quanto em solos agrícolas. Além de serem capazes de colonizar raízes das plantas, alguns também colonizam a parte aérea e podem se desenvolver endofiticamente (GUZMÁN-GUZMÁN et al., 2019).

Algumas linhagens de *Trichoderma* spp. aumentam a superfície total do sistema radicular, possibilitando um maior acesso aos elementos minerais nele presente. Outras são capazes de solucionar e disponibilizar para a planta o fosfato de rocha, ferro, cobre, manganês e zinco. Também, podem melhorar os mecanismos ativos de absorção de macro e micronutrientes, bem como, aumentar a eficiência da planta para utilizar alguns nutrientes importantes, como o nitrogênio presente no solo (DAS et al., 2017; WOO & PEPE, 2018; MENDOZA-MENDOZA et al., 2018). Este fungo pode influenciar positivamente na germinação de sementes, no desenvolvimento e rendimento da cultura devido, também, à produção de substâncias

promotoras de crescimento e melhoria na nutrição das plantas, principalmente pela solubilização de fósforo, síntese de ácido indol acético (CHAGAS et al., 2017), como agentes de controle de doenças de várias plantas cultivadas e indutores de resistência de doenças nas plantas (WOO & PEPE, 2018; MENDOZA & MENDOZA et al., 2018).

Assim, o objetivo do projeto foi avaliar a eficiência de isolados de *Trichoderma* spp. no biocontrole dos principais patógenos das culturas do milho e como promotores de crescimento vegetal, através da capacidade de solubilização de fosfato e síntese de ácido indol acético e monitorar o efeito da inoculação dos fungos em casa-de-vegetação.

MÉTODO E MATERIAIS

Foram utilizados nos testes isolados de *Trichoderma* spp. da coleção do Laboratório de Microbiologia da UFT, Campus de Gurupi. Foi realizada uma identificação preliminar, levando-se em consideração as características morfológicas, com base em bibliografia especializada.

Teste de solubilização de fosfato em sementes inoculadas e dos fungos

Foi realizada a preparação do meio BD, adicionando 250 mL em erlenmeyers, e em seguida foi transferido para a capela de fluxo laminar para a inoculação do microrganismo ao meio. Logo após, foi colocado na Shake durante 5 dias, em 130 rpm. Sequencialmente, foi feita a assepsia superficial do cultivar onde, utilizou-se uma solução de álcool 70% (v v-1) por 30 s, em seguida hipoclorito de sódio 1% por 1 min e, na sequência, seis banhos em água destilada e esterilizada e, então, foram deixadas secar sobre papel toalha esterilizado, e em seguida, foram submersas por 20 minutos no mosto, para melhor aderência do fungo na semente. Em seguida, as sementes foram colocadas nos tubos com o meio NBRIP previamente preparado, sendo adicionado 40 mL do meio em 12 tubos de ensaio, o teste foi realizado em triplicata,

contendo o controle negativo com o meio NBRIP e também com meio Ágar Ágar.

Foram testados os seguintes microrganismos: *Trichoderma longibrachiatum*; *Trichoderma virens* e o *Trichoderma pinnatum*. Adicionalmente, foi realizado o teste de solubilização dos fungos em placa de Petri com meio NBRIP, sendo adicionado um disco do 9 mm dos fungos, em placas de 95 mm, e incubados em temperatura ambiente, com o objetivo de verificar a eficácia na conversão de fosfato. Ambos os experimentos foram observados por 10 dias, e foram feitas medidas do desenvolvimento do diâmetro da solubilização diariamente, com o auxílio de um paquímetro manual.

Antagonismo em cultura pareada

Para avaliação da potencialidade antagonista de *Trichoderma* spp. contra *Sclerotium rolfsii*, *Macrophomina* sp., *Rhizoctonia* sp. e *Fusarium* sp., foi utilizada a técnica de pareamento de colônias do patógeno e controlador biológico, adaptado de Mariano (1993), todos cultivados no meio Ágar Batata Dextrose (BDA). Foram adicionados os discos de BDA com os microrganismos nas extremidades das placas, e foram incubadas durante seis dias a 28 ± 2 °C, com fotoperíodo de 12 h. A percentagem de inibição do patógeno pelo antagonista (%P) foi realizada pela metodologia adaptada de Camporota (1985) em que: $\%P = (DE - DT(P)) \times 100 / DE$, sendo DT(P), o raio de crescimento da colônia do patógeno em direção frontal à colônia do antagonista e DE, a distância que separa as duas colônias.

Foi realizada também uma avaliação de acordo com os critérios propostos por Bell et al. (1982) com escalas de notas variando de 1 a 5: nota 1, antagonista cresce por toda a placa de Petri (87,6 a 100%); nota 1,5, antagonista cresce sobre 7/8 da placa (66,6 a 87,5%); nota 2, antagonista cresce sobre 2/3 da placa (62,5 a 66,5%); nota 2,5,

antagonista cresce sobre 5/8 da placa (51 a 62,4%); nota 3, antagonista e patógeno crescem até a metade da placa (50%); 3,5, antagonista cresce sobre 3/8 da placa (37,5 a 49,9%); nota 4, antagonista cresce sobre 1/3 da placa (33,3 a 37,4%) e nota 5, antagonista não cresce na placa de Petri (porcentagem abaixo de 33,2%). Foi considerado o isolado como antagônico ou eficiente quando sua nota for menor ou igual a 2,0.

Teste para verificação da qualidade do biológico

O cultivo dos agentes patogênicos já citados foi realizado em meio sólido de BDA, 28 ± 2 °C. Ao centro da placa foi adicionado um disco de 9 mm do patógeno, após um dia de incubação, em cada placa foram adicionadas quatro sementes já tratadas com as cepas das *Trichoderma*, a fim de observar o desenvolvimento da planta e o potencial antagônico sobre o patógeno presente.

DADOS E DISCUSSÃO

Quanto à solubilização de fosfato, nota-se que as espécies *Trichoderma longibrachiatum*, *Trichoderma virens* e *Trichoderma pinnatum* obtiveram excelentes resultados, conseguindo fazer a hidrólise da forma insolúvel para solúvel no período de três dias de observação (Tabela 1, Figura 1). Porém, a *Trichoderma virens* obteve melhor resultado e iniciou a solubilização nas primeiras horas que o experimento foi instalado, comprovando que tem maior potencial na conversão e se sobressaiu dos demais.

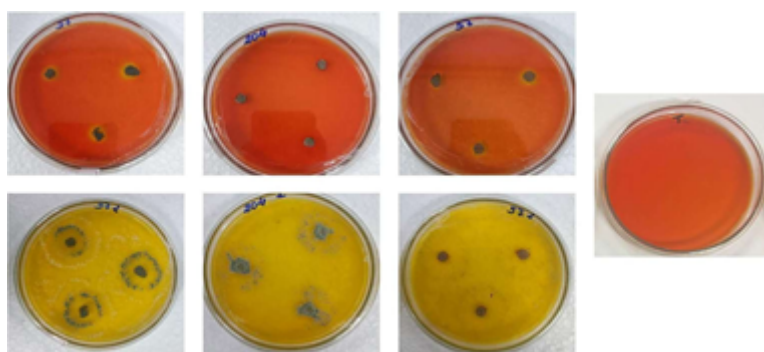
Tabela 1: Medições dos halos na solubilização de fosfato pelas *Trichodermas* spp.

Tratamentos	1º dia (cm)	2º dia (cm)	3º dia (cm)
-------------	-------------	-------------	-------------

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

<i>Trichoderma</i>	0,9 a	6,50 a	9,5 a
<i>longibrachiatum</i>			
<i>Trichoderma virens</i>	0,9 a	6,55 a	9,5 a
<i>Trichoderma pinnatum</i>	0,9 a	5,4 a	9,5 a

Figura 1: Solubilização de fosfato em placas pelos fungos, *Trichoderma pinnatum*, *Trichoderma longibrachiatum* e *Trichoderma virens*, respectivamente.



A solubilização de fosfato com as sementes inoculadas com o *Trichoderma virens* obtiveram melhores resultados, comprovando a eficiência na filogênese e na hidrólise de fosfato, como mostrado na (Figuras 2). No período de cinco dias de experimento, observou-se o princípio da germinação da semente inoculada (Figura 2B), com medições iniciais de 0,8 cm, enquanto a testemunha não obteve nenhum desenvolvimento vegetal e nem a solubilização. No oitavo dia de observação (Figura 2C), obteve medições com cerca de 3,5 cm na cultivar tratada, enquanto a não inoculada estava iniciando o processo de brotamento. No décimo dia de monitoramento (Figura 2D), notou-se tamanha diferença entre os cultivares, onde o milho tratado com o fungo apresenta maior biomassa vegetal, medindo cerca de 5 cm, enquanto o não tratado apresenta cerca de 2 cm da parte aérea. Esta diferença de tamanho se dá devido a maior conversão feita pelo fungo, disponibilizando maiores quantidades de fosfato na sua forma solúvel, melhorando a assimilação dos outros nutrientes essenciais para um desenvolvimento acelerado.

Figuras 2 - Solubilização de fosfato em tubos de milho tratado e não tratado com *Trichoderma virens*. A, sem inoculação com *Trichoderma*. B, C e D, cinco, oito e 10 dias após a inoculação com *Trichoderma virens*, respectivamente.



O teste de solubilização de fosfato em cultivares de milho é executado para avaliar a capacidade das plantas e dos microrganismos que estão associados a elas em fazer a conversão das formas insolúveis de fosfato que não podem ser usadas pelas plantas em formas solúveis, facilitando a absorção para um melhor desenvolvimento do cultivar (Hossain et al., 2017). O fósforo desempenha um papel crucial na formação de diversas moléculas, como ácidos nucleicos, fosfolipídios e ATP. Por essa razão, a suplementação desse nutriente é vital para o crescimento das plantas, representando cerca de 0,2% do seu peso seco (Kapri & Tewari 2010).

Os resultados do potencial antagonista de *Trichoderma* contra *Sclerotium rolfii*, *Macrophomina* sp., *Rhizoctonia* sp. e *Fusarium* sp. mostraram que espécies de *Trichoderma* utilizam de diferentes formas de antagonismo. *T. pinnatum* foi eficiente no controle de *Sclerotium rolfii*, *Macrophomina* sp., *Rhizoctonia* sp. com nota menor que 2,0 (Bell et al., 1982). Enquanto *T. virens* foi mais eficiente no controle de *Fusarium* sp. Já o *T. longibrachiatum* não apresentou eficiência contra os patógenos avaliados. (Tabela 2).

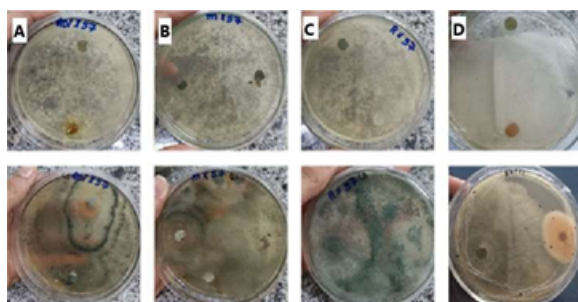
A figura 3 mostra o antagonismo de *T. virens* contra os patógenos *Sclerotium rolfsii*, *Macrophomina* sp., *Rhizoctonia* sp. e *Fusarium* sp., respectivamente. Segundo a Tabela 2 ele demonstrou uma ação antagônica significativa, inibindo o crescimento de *Fusarium* sp. Este fungo é conhecido por sintetizar compostos bioativos, como a gliotoxina, que inibem o crescimento de vários patógenos. Além disso, ele pode competir por nutrientes e espaço, além de parasitar diretamente os patógenos (Sharma et al., 2023). Esses mecanismos tornam o *T. virens* um agente eficaz no controle biológico de doenças de plantas.

Tabela 2: Percentagem de inibição de *Trichoderma* em cultivo pareado (%P) e Nota (pelo critério de Bell et al. (1982) contra *Sclerotium rolfsii*, *Macrophomina* sp., *Rhizoctonia* sp. e *Fusarium* sp.

Sclerotium rolfsii *Macrophomina* sp. *Rhizoctonia* sp. *Fusarium* sp.

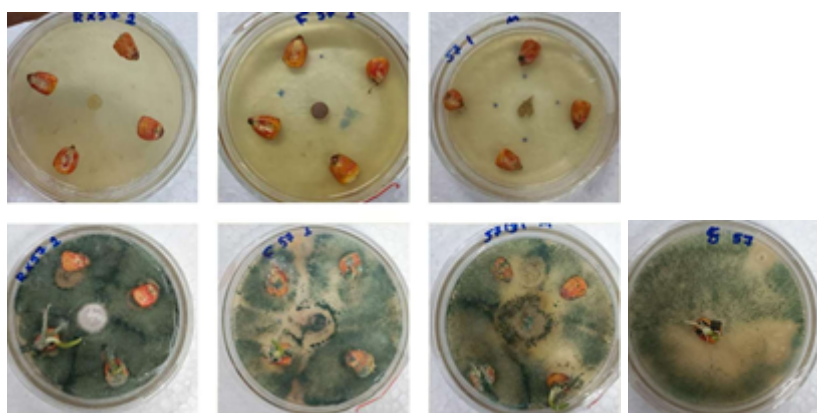
ANTAGONISTA	%P	Nota	%P	Nota	%P	Nota	%P	Nota
<i>T. pinnatum</i>	79	1,5	86	1,5	100	1,0	55	2,5
<i>T. longibrachiatum</i>	46	3,5	54	2,5	56	2,5	58	2,5
<i>T. virens</i>	46	3,5	23	5,0	34	4,0	71	1,5

Figura 3. Antagonismo em cultura pareada com *Trichoderma virens* vs. *Sclerotium rolfsii* (A), *Macrophomina* (B), *Rhizoctonia* (C) e *Fusarium* (D).



Quanto ao teste para verificação o efeito do biológico inoculado nas sementes, a Figura 4 demonstra o potencial do fungo no controle de pragas e doenças, onde o *Trichoderma virens* se multiplicou sobre os patógenos testados, e o brotamento nos três testes expostos começou após três dias de incubação, enquanto o controle (não tratado) iniciou a germinação apenas um dia após o início dos tratamentos.

Figura 4. Sementes tratadas com *T. virens* vs. *Rhizoctonia*, *Fusarium* e *Macrophomina*, respectivamente



Os fungos do gênero *Trichoderma* são filamentosos e estão presentes em todos os tipos de solo e diversos outros locais, por exemplo, a rizosfera, matéria orgânica etc., e são reconhecidos como agentes de biocontrole de agentes patogênicos. O controle biológico é uma abordagem vital para o manejo sustentável de pragas e doenças na agricultura, promovendo o equilíbrio natural e minimizando a dependência de insumos químicos. Podem contribuir para a criação de sistemas agrícolas mais resilientes e mais sustentáveis, preservando tanto o meio ambiente quanto a saúde humana. Porém, para o sucesso do uso é necessária uma compreensão aprofundada dos ecossistemas agrícolas e a adoção de práticas de manejo integradas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O *Trichoderma*, com destaque para o isolado *T. virens*, demonstrou alta eficácia tanto no controle de patógenos do solo quanto na promoção do crescimento vegetal, especialmente na cultura do milho. Nos testes de antagonismo em cultura pareada, ele foi efetivo na redução do crescimento micelial de patógenos como *Fusarium*, *Macrophomina*, *Sclerotium rolfsii* e *Rhizoctonia*, comprovando seu alto potencial antagônico. Além disso, o *T. virens* se destacou na solubilização de fosfato, o que facilita a absorção de nutrientes essenciais pelas plantas, resultando em maior crescimento e biomassa nas plantas tratadas. Esses resultados reforçam a eficácia do *Trichoderma virens* como agente de biocontrole e promotor de crescimento vegetal, tornando-o uma ferramenta promissora para uma agricultura mais sustentável e eficiente.

REFERÊNCIAS

BELL, D.K. et al. *In vitro* antagonism of *Trichoderma* species against six fungal plant pathogens.

Phytopathology, v.72, p.379-382, 1982.

MARIANO, R. L. R. Métodos de seleção “in vitro” para controle microbiológico. *Revisão Anual de patologia de Planta*, Passo Fundo, v. 1, p. 369-409, 1993.

HOSSAIN, MM, SULTANA, F., ISLAM, S. (2017). Fungos promotores do crescimento de plantas (PGPF): fitoestimulação e resistência sistêmica induzida. Em: Singh, D., Singh, H., Prabha, R. (eds) *Interações planta-micróbio em perspectivas agroecológicas*. Springer, Cingapura. https://doi.org/10.1007/978-981-10-6593-4_6 KAPRI, A. & TEWARI, L. 2010. Phosphate solubilization potential and phosphatase activity of rizospheric *Trichoderma* spp. *Brazilian Journal of Microbiology*, 41(3): 787-795

SHARMA, A., GUPTA, B., VERMA, S. *et al.* Revelando o potencial de biocontrole do *Trichoderma*. *Eur J Planta Pathol* **167**, 569–591 (2023). <https://doi.org/10.1007/s10658-023-02745-5>

HARMAN, G.E. Myths and dogmas of biocontrol changes in perceptions derived from research on *Trichoderma harzianum* T-22. *Plant Disease*. **84**: 377-93, 2000.

CATTELAN, A. J. Métodos quantitativos para determinação de características bioquímicas e fisiológicas associadas com bactérias promotoras do crescimento vegetal. Londrina: Embrapa Soja. 36 p. 1999. (Embrapa Soja. Documentos, 139).

CAMPOROTA, P. Antagonism in vitro of *Trichoderma* spp. vis-a-vis *Rhizoctonia solani* Kuhn. *Agronomie*, v.5. p.613-620, 1985.

CHAGAS, L. F. B.; MARTINS, A. L. L.; CARVALHO FILHO, M. R.; MILLER, L. O.; OLIVEIRA, J. C.; CHAGAS JUNIOR, A. F. O *Bacillus subtilis* e *Trichoderma* spp. no incremento da biomassa em plantas de soja, feijão-caupi, milho e arroz. *Agri-Environmental Sciences*, v. 03, n. 2, p. 10-18. 2017a.

DAS, T.; MAHAPATRA, S.; DAS, S. In vitro compatibility study between the *Rhizobium* and native *Trichoderma* isolates from lentil rhizospheric soil. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, v. 6, n. 8, p. 1757-1769, 2017.

GUZMÁN-GUZMÁN, P.; PORRAS-TRONCOSO, M. D.; OLMEDO-MONFIL, V. ;HERRERAESTRELLA, A. *Trichoderma* species: versatile plant symbionts. *Phytopathology*, v. 109, n. 1, p. 6- 16, 2019.

MENDOZA-MENDOZA, A.; ZAID, R., LAWRY, R.; HERMOSA, R.; MONTE, E.; HORWITZ, B.A.; MUKHERJEE, P. K. Molecular dialogues between

Trichoderma and roots: role of the fungal secretome. **Fungal Biology Reviews**, v. 32, n. 2, p. 62-85, 2018.

MASCARIN, G. M.; MATSUMURA, A. T. S.; WEILER, C. A.; KOBORI, N. N.; SILVA, M. E.; BERLITZ, D. L.; MATSUMURA, A. S. *Produção industrial de Trichoderma*. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (Eds.). *Trichoderma: Uso na Agricultura*. Brasília, DF: Embrapa. 2019. p. 255-274

PLESSIS, I. L.; DRUZHININA, I. S.; ATANASOVA, L.; YARDEN, O.; JACOBS, K. The diversity of *Trichoderma* species from soil in South Africa, with five new additions. **Mycologia**, v. 110, n. 3, p. 559-583, 2018.

WOO, S. L.; PEPE, O. Microbial consortia: promising probiotics as plant biostimulants for sustainable agriculture. **Frontiers in Plant Science**, v. 9, p. 1801, 2018.

FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

Capítulo 11

PRODUTIVIDADE COMERCIAL DE BULBOS DE CEBOLAS EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DE PLANTAS

Jennyfer de Fátima Rofrigues Marins¹
Ildon Rodrigues do Nascimento ²

RESUMO

A cebola (*Allium cepa* L.) é uma das principais hortaliças cultivadas no Brasil. O estado do Tocantins não produz cebola comercialmente, sendo primordial a realização de trabalhos que possam relacionar o potencial do estado. Dentre os fatores que afetam a produtividade da cebola, a densidade de plantas é a mais importante. Verificar o efeito da densidade de plantas sobre o desempenho de cultivares de cebola é o objetivo desse trabalho. Um experimento foi instalado no ano 2024 na UFT, Câmpus de Gurupi em esquema fatorial 4 x 2 (quatro densidades: 270.000; 350.000; 420.000 e 510.000 plantas por hectare, respectivamente) e duas cultivares (Optima e Serena). Avaliou-se as características produtividade, massa média, diâmetro, comprimento e classificação dos bulbos. A produtividade de bulbo foi pouco afetada pela densidade de plantas. No híbrido Optima, a produtividade variou de 57 a 71 ton ha⁻¹ com massa média variando de 142,26 a 215,75 g bulbo⁻¹. Nesse híbrido, a classificação dos bulbos colhidos foi da classe 3 cheio. Com produtividade variando de 51,19 a 117,90 ton ha⁻¹, o híbrido Serena foi o mais produtivo. A massa dos bulbos variou de 120,92 a 232,71 g bulbo⁻¹ e os bulbos foram classificados nas classes 3; 3 cheia e 4.

Palavras-chave: *Allium cepa* L.; População de plantas; Qualidade de bulbos.

¹Aluna de graduação, Bolsista PIBIC/CNPq, UFT, e-mail: fatima.jennyfer@mail.uft.edu.br

²Engº Agrônomo Dr. em Genética e Melhoramento de Plantas, Professor UFT – Campus e Gurupi, e-mail: ildon@uft.edu.br

INTRODUÇÃO

A cebola (*Allium cepa* L.) é originária da região compreendida pelo Afeganistão, Irã e Paquistão. Pertence à família Alliaceae, juntamente com outras espécies de utilização condimentar, e é classificada botânica como *Allium cepa* L. Trata-se de uma espécie bienal que, em condições normais, produz bulbos no primeiro ano, a partir das sementes, e sementes no segundo ano, a partir dos bulbos. As plantas são herbáceas, com folhas ocas e cobertas por uma camada cerosa. O pseudocaule é formado pela superposição das bainhas carnosas das folhas. O sistema radicular é do tipo fasciculado, com poucas ramificações, alcançando até 60 cm de profundidade. Externamente são envoltos por túnicas brilhantes, de coloração variável. O caule verdadeiro situa-se na base do bulbo de onde partem as folhas e raízes.

No Brasil, a cebola destaca-se ao lado da batata e do tomate, como as olerícolas economicamente mais importantes pelo volume produzido de 1.700 mil toneladas em uma área de aproximadamente 52 mil ha⁻¹ (CGEA/IBGE, 2018, NUNES et al., 2014; SOUZA; RESENDE, 2002). O Brasil ocupa o 13º lugar no ranking mundial de produção de cebola e no ano de 2022 atingiu 1,66 milhão de toneladas em uma área de 49 mil hectares com produtividade média de 33,4 t ha⁻¹ (IBGE, 2022). Nos últimos anos, a cebolicultura nacional tem-se expandido para outras regiões, em especial a região nordeste do país onde se tem atingido os maiores patamares de produtividade (SANTOS et al., 2019).

A qualidade final dos bulbos da cebola é bastante influenciada pelo manejo recebido na pós- colheita, contudo características como tamanho, cor externa, formato de bulbos, pungência e teor de sólidos solúveis são bastante variáveis e dependem principalmente das características genéticas de cada cultivar (SIMON, 1995; MORETTI, 2004).

Entre as características importantes na pós-colheita de cebolas, a pungência ou conteúdo de ácido pirúvico, teor de sólidos solúveis, acidez titulável e massa seca dos bulbos são as mais importantes (RESENDE et al., 2010). A composição química e as características sensoriais de sabor, cor e odor dos bulbos de cebola dependem principalmente do fator genético, mas também sofrem fortes influências de fatores ambientais, como as condições de cultivo, tratamentos culturais realizados durante o ciclo da cultura, manejo de nutrientes aplicados no plantio e cobertura, e também época de semeadura das mudas (RANDLE, 1997). Busca-se através das práticas de manejo propiciar condições que auxiliem o genótipo adotado a expressar seu máximo potencial de forma a combinar características produtivas adequadas ao comércio que se traduzam em rentabilidade para o agricultor. Dentre os fatores de manejo fitotécnico determinantes à produção comercial de bulbos, destaca-se o estabelecimento da população ideal de plantas por hectare para cada cultivar e sistema de cultivo (Baier et al., 2009). No estado de São Paulo, os produtores rurais têm adensado suas lavouras e buscado novas distribuições espaciais de plantas com vistas à obtenção de bulbos uniformes de tamanho médio (50 a 70 mm) considerados de melhor padrão de qualidade (Cecílio Filho et al., 2006; May et al., 2007).

O ciclo da cultura também pode ser afetado pelo aumento da população de plantas. Dependendo da cultivar utilizada, pode-se acelerar (Baier et al., 2009) ou retardar (Lopes, 1987) progressivamente a maturação dos bulbos.

A competição entre plantas aumenta a concorrência por luz, água, CO₂, oxigênio e nutrientes minerais, modificando dessa forma o processo de bulbificação (MASCARENHAS, 1993). Segundo Cardoso & Costa (1999) o aumento da densidade de plantio promove a aceleração da maturação dos bulbos, sendo o cultivo em alta densidade um fator que leva ao menor crescimento da planta (MASCARENHAS, 1993),

diminuição da massa média de bulbos, podendo ter grande influência na produtividade da cultura (FILGUEIRA, 2005; SANTOS et al., 2000).

O aumento da população de plantas pode contribuir para melhorar a exploração tanto do ambiente quanto da cultivar, tendo como consequência o aumento da produtividade. O adequado seria o estabelecimento de uma população ótima, que maximizaria a exploração desses fatores, garantindo a maior produtividade.

Estudos realizados por vários pesquisadores, nas condições de cultivo brasileiras, mostram que o número de plantas por área é o fator de suma importância na obtenção de elevada produção (ANEZ & TAVIRA, 1986; COSTA et al., 2000). Mascarenhas et al. (1993) afirmam que a baixa qualidade e produtividade da cebola são atribuídas à densidade de plantio inadequada.

A produtividade, a produção comercial e a proporção de bulbos com menor massa média aumentaram em função do incremento na densidade mediante redução no espaçamento entre linhas e entre plantas (BOFF et al., 1998; GALMARINI & GASPERA, 1995; LOPES, 1987; STOFFELLA, 1996). Assim, o estudo da densidade populacional torna-se de grande importância para que se possa ter êxito com a cultura da cebola.

Avaliar diferentes densidades de plantio sobre características agronômicas em genótipos de cebola na região sul do Tocantins foi o objetivo deste trabalho.

MÉTODO E MATERIAIS

O experimento foi implantado no período de outono/inverno na área experimental do Setor de Olericultura da Universidade Federal do Tocantins (UFT), no município de Gurupi, sul do Estado do Tocantins, tendo como referência as seguintes coordenadas geográficas: latitude

11° 44'42" S, longitude 49° 03'05 W Gr. e 276 m de altitude. O clima da região é do tipo tropical seco, com temperatura média anual variando de 26 a 27 °C. O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico.

O delineamento experimental utilizado será o delineamento em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial simples (4x2), sendo o primeiro fator constituído por quatro densidades de semeadura: D1 = 270.000 plantas por ha⁻¹; D2 = 350.000 plantas por ha⁻¹; D3 = 420.000 plantas por ha⁻¹; e D4 = 510.000 plantas ha⁻¹. O segundo fator é duas cultivares híbridas de cebola: Serena e Optma, ambas pertencentes à empresa Plantssed®. O experimento foi instalado com 4 repetições. A parcela experimental tem quatro linhas de plantio com um metro de comprimento. Como parcela útil será considerada as plantas das duas linhas centrais.

Foram utilizadas mudas obtidas em bandejas de poliestireno expandido "isopor" de 200 células, utilizando-se o substrato comercial Germinar®. As mudas foram produzidas em viveiro com sistema de irrigação por microaspersão. O transplante das mudas foi realizado 30 dias após a semeadura.

O espaçamento utilizado foi 0,25 cm entre linhas para todas as densidades, alterando-se apenas o espaçamento entre plantas dentro das linhas, que são 10,0 cm; 8,0 cm; 6,0 cm e 4,0 cm, respectivamente, representando as densidades.

A adubação de base foi feita conforme recomendado pela EMBRAPA (2007), segundo resultado da análise de solo. O controle de plantas daninhas, de pragas e doenças, serão realizados de acordo com a recomendação da cultura (EMBRAPA 2007).

A colheita foi realizada quando 80% das plantas se encontravam tombadas (estalo), de acordo com o ciclo de maturação do cultivar.

Após a colheita, os bulbos foram levados para cura no laboratório por um período de 20 dias. Posteriormente foi procedido toalete eliminando-se os restos das raízes e da parte aérea.

As características avaliadas foram:

- Produtividade comercial de bulbos ($t\ ha^{-1}$): que foi obtida a partir da pesagem dos bulbos comerciais colhidos da parcela útil, e os resultados foram convertidos para $t\ ha^{-1}$.
- Peso médio dos bulbos comerciais (g): peso em gramas que foram obtidos a partir da pesagem dos bulbos comerciais em balança;
- Comprimento do bulbo (mm): medida do comprimento longitudinal dos bulbos comerciais que foi obtida com auxílio de paquímetro digital;
- Diâmetro do bulbo (mm): medida radial dos bulbos comerciais foram obtidas com auxílio de paquímetro digital;
- Classificação dos bulbos: foi obtido, segundo escala proposta por CEAGESP (2001), em que: Classe 0 ou refugo: menor que 15 mm; Classe 1: 15 a 35 mm; classe 2: 35 a 50 mm; Classe 3: 50 a 70 mm; Classe 3 cheio: 60 a 70 mm; Classe 4: 70 a 90 mm e Classe 5: Maior que 90 mm.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, com desdobramento dos efeitos qualitativos (densidade x híbridos). As médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Todas as análises foram feitas com o software Sisvar (Ferreira, 2008).

DADOS E DISCUSSÃO

A produtividade de bulbos de cebola é afetada por diferentes fatores, destacando-se a densidade de semeadura como uma das mais importantes. Neste trabalho, tanto a densidade de semeadura como os híbridos avaliados tiveram influência na produtividade de

bulbos (Tabela 1). Percebe-se que quando se promove o aumento do número de plantas por metro linear, não houve diferença significativa na produtividade de bulbos até a densidade de 420.000 plantas ha⁻¹ dentro do híbrido Optima. Nesse híbrido, a densidade de 510.000 plantas difere das demais, com produtividade de 71,57 ton ha⁻¹. Esse mesmo comportamento foi observado dentro do híbrido Serena.

Entre os híbridos nas diferentes densidades avaliadas, diferença significativa foi observado apenas nas densidades de 420.000 e 510.000 plantas por ha⁻¹ (Tabela 1). Avaliando a influência da densidade de plantas sobre a produtividade, Lopes et al. (2004) constataram que no menor espaçamento foram obtidas a maior produtividade comercial do bulbo. Já Kanton *et al.* (2002) observaram aumento na produtividade com o incremento da densidade de plantio. Dellacecca & Lovato (2000), relataram resultados similares.

Tabela 1 – Médias para produtividade de bulbos em híbridos de cebola em função da densidade de semeadura. Gurupi – TO, 2024.

	Optima	Serena
D1*	57,54 Ab	55,68 Ab
D2	64,89 Ab	63,61 Ab
D3	60,96 Ab	51,59 Bb
D4	71,57 Ba	117,90 Aa

Densidades

Híbridos

*D1: 270.000; D2: 350.00; D3: 420.000 e D4: 510.000 plantas por ha⁻¹, respectivamente.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha indica diferença entre híbridos e por letras minúsculas indica diferença entre densidades de semeadura pelo teste de Scott & Knott (1977).

Espera-se que o aumento da densidade de plantio proporcione redução na massa média do bulbo, fato relatado por Santos *et al.* (2000) para a cultivar Texas Grano 502. Por outro lado, avaliando a mesma cultivar, Sabota & Downes (1981) não observaram diferenças significativas para essa característica nas duas populações de plantas (192.940 e 257.320 plantas ha⁻¹). Nesse trabalho observou-se que o aumento da densidade promoveu redução no peso médio dos bulbos na cultivar Optima, que teve maior massa de bulbos na densidade de 210.00 e 350.000 plantas ha⁻¹, diferindo estatisticamente das outras densidades avaliadas (Tabela 2). Já no híbrido Serena, apenas a densidade de 420.000 plantas ha⁻¹ promoveu bulbos de menor peso médio, diferindo estatisticamente das demais densidades avaliadas. Quando se compara a diferença entre os híbridos, apenas essas as densidades de 420.000 e 510.000 foram capazes de promover diferença significativa entre os híbridos para essa característica.

Tabela 2 – Médias para massa média de bulbos em híbridos de cebola em função da densidade de semeadura. Gurupi – TO, 2024.

	Optima	Serena
D1*	215,75 Aa	208,79 Aa
D2	187,19 Aa	183,49 Aa
D3	142,88 Ab	120,93 Bb
D4	141,26 Bb	232,71 Aa

Densidades

Híbridos

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

*D1: 270.000; D2: 350.00; D3: 420.000 e D4: 510.000 plantas por ha⁻¹, respectivamente.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha indica diferença entre híbridos e por letras minúsculas indica diferença entre densidades de semeadura pelo teste de Scott & Knott (1977).

O diâmetro dos bulbos teve influência das densidades de semeadura no híbrido Optima (Tabela 3). Ficou evidente que o aumento da densidade de plantas tende a diminuir o diâmetro dos bulbos, com formação de dois grupos de média. Já no híbrido Serena, apenas a densidade de 420.000 plantas ha⁻¹ diferiu estatisticamente das demais. Estes resultados que corroboram com os de Viegas D'Abreu (1996), que obteve aumento diâmetro do bulbo na maior densidade, assim como os obtidos por Stoffella (1996) que verificou maior porcentagem de bulbos pequenos e médios nos menores espaçamentos, e Rumpel & Felczynski (2000). Lopes (1987) constatou para diferentes cultivares que o incremento da densidade promove redução no diâmetro.

Diferença estatística entre os híbridos dentro das densidades só foi observado na densidade de 510.000 plantas ha⁻¹ (Tabela 3), o que demonstra que o diâmetro do bulbo é mais dependente da densidade de plantas do que do efeito do híbrido avaliado quando este é adaptado ao local de cultivo.

Tabela 3 – Médias para diâmetro de bulbos em híbridos de cebola em função da densidade de semeadura. Gurupi – TO, 2024.

Densidades	Híbridos	
	Optima	Serena
D1*	76,81 Aa	51,96 Bb
D2	72,83 Ab	72,48 Aa
D3	67,20 Ab	65,67 Ab
D4	65,06 Bb	81,50 Aa

*D1: 270.000; D2: 350.00; D3: 420.000 e D4: 510.000 plantas por ha⁻¹, respectivamente.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha indica diferença entre híbridos e por letras minúsculas indica diferença entre densidades de semeadura.

O comprimento médio do bulbo é importante por definir o formato e a qualidade final do bulbo. Sobre esse aspecto, bulbos de comprimento maior tendem a serem menos aceito no mercado, quando essa relação é muito diferente dos valores observados para o diâmetro. Neste trabalho, foi observado que o aumento da densidade de plantas promoveu redução do comprimento dos bulbos, sendo diferente estatisticamente das demais densidades no híbrido Optima na densidade de 270.000 plantas ha⁻¹ que tendem a produzir bulbos de comprimento maior (Tabela 4). Já no híbrido Serena, houve a formação de dois grupos de médias, destacando-se as densidades de 350.000 e 510.000 que tendem a produzir bulbos de maior comprimento médio. Quando a comparação é feita entre os híbridos, as densidades de 270.000 e 510.000 foram as que promoveram a diferença entre as médias.

Quando se relaciona o diâmetro dos bulbos com o comprimento dos bulbos, fica evidente que os valores ficaram próximo de 1,0, o que sobre o ponto de vista comercial é aceitável uma vez que esse valor remete a formato de bulbos globular ou globular achatado, o que é preferível pelo mercado.

De maneira geral, os consumidores brasileiros preferem cebolas com bulbos globulares, com casca de coloração avermelhada semelhante à cor do pinhão. Visando atender estas exigências, deve-se optar por cultivares de polinização aberta ou híbridas que proporcionem uma colheita uniforme, dentro da época programada.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO
DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Tabela 4 – Médias para comprimento de bulbos em híbridos de cebola em função da densidade de semeadura. Gurupi – TO, 2024.

	Optima	Serena
D1*	76,81 Aa	51,96 Bb
D2	72,83 Ab	72,48 Aa
D3	67,20 Ab	65,67 Ab

Densidades	Híbridos	
D4	65,06 Bb	81,50 Aa

*D1: 270.000; D2: 350.00; D3: 420.000 e D4: 510.000 plantas por ha⁻¹, respectivamente.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha indica diferença entre híbridos e por letras minúsculas indicam diferença entre densidades de semeadura.

O tamanho que possui maior demanda no país é o chamado “caixa 3”, no qual o bulbo tem entre 50 e 60 milímetros de diâmetro. Nessa classe de tamanho a cebola apresenta maior rentabilidade ao produtor e um desenvolvimento mais equilibrado nutricionalmente durante a formação das plantas e dos bulbos, que resultará também, ao final, em melhores aspectos de casca e pós-colheita. Nesse trabalho, houve predomínio de bulbos de cebola dentro das classes 3, 3 cheio e 4.

Tabela 5 – Classificação dos bulbos de híbridos de cebola em função da densidade de semeadura segundo escala do CEAGESP. Gurupi – TO, 2024.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

	Optima	Serena
D1*	3 cheio	4
D2	3 cheio	3 cheio
D3	3 cheio	3
D4	3 cheio	4

Densidades

Híbridos

*D1: 270.000; D2: 350.00; D3: 420.000 e D4: 510.000 plantas por ha⁻¹, respectivamente.

Em função dos resultados obtidos, percebe-se que a densidade de semeadura interfere na produtividade de bulbos de cebola, com tendência da produtividade e massa média dos bulbos reduzirem com o número de plantas por hectare. Em populações menores produz, geralmente, baixos rendimentos e alta porcentagem de bulbos médios e grandes. Em cultivos com densidades maiores que a ótima, se têm bulbos pequenos e desuniformes de qualidade comercial inferior, comparativamente ao cultivo em densidade adequada (Resende & Costa, 2005).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produtividade de bulbo foi pouco afetada pela densidade de plantas.

No híbrido Optima, a produtividade variou de 57 a 71 ton ha⁻¹ com massa média variando de 142,26 a 215,75 g bulbo⁻¹. Nesse híbrido, a classificação dos bulbos colhidos foi da classe 3 cheio. Com

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

produtividade variando de 51,19 a 117,90 ton ha⁻¹, o híbrido Serena foi o mais produtivo.

A massa dos bulbos variou de 120,92 a 232,71 g bulbo⁻¹ e os bulbos foram classificados nas classes 3; 3 cheia e 4.

REFERÊNCIAS

ANEZ, R. B.; TAVIRA, D. E. Aplicacion de N, P y K a diferentes poblaciones de plantas de cebolla. Turrialba, San José, v. 36, n. 2, p. 163-170, 1986.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTALIÇAS. 2021/22 - Retrospectiva 2021 e Perspectiva 2022 . Brazilian vegetable yearbook. Santa Cruz do Sul: Gazeta. 90p.

BAIER, J.E; RESENDE, J.T.V; GALVÃO, A.G; BATTISTELLI, G,M; MACHADO, M.M; FARIA, M.V. 2009. Produtividade e rendimento comercial de bulbos de cebola em função da densidade de cultivo. Ciência & Agrotecnologia 33: 496-501.

BOEING, G. Síntese anual da agricultura de Santa Catarina 2005 – 2006. Cultura da cebola. 2006. Disponível em: <http://cepa.epagri.sc.gov.br/Publicacoes/>. Acesso em 21 de agosto de 2013.

BOFF, P; HENRI, S; GONÇALVES, P.A.S. 1998. Influência da densidade de plantas na ocorrência de doenças foliares e produção de bulbos de cebola. Fitopatologia Brasileira 23: 448- 452

CARDOSO, A. I. I.; COSTA, C. P. da. Produção de bulbilhos de cebola em bandejas de isopor. Scientia Agrícola, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 969-974, 1999.

CARVALHO, P. G. B.; MACHADO, C. M. M. **Características nutricionais.** Disponível em<Companhia De Entrepósitos e Armazéns Gerais Do Estado De São Paulo_CEAGESP. Programa Brasileiro para a melhoria dos padrões comerciais e embalagens de hortigranjeiros. São Paulo, 2001.

CECÍLIO FILHO, A.B; MAY, A; PÔRTO, D.R.Q; STEIN, R.C; VARGAS, P.F. 2006. Produtividade e qualidade de bulbos de duas cultivares de cebola em função da população de plantas, em semeadura direta. Revista Caatinga 19: 146-152.

COSTA, N. D.; RESENDE, G. M. de; DIAS, R. de C. S. **Avaliação de cultivares de cebola em Petrolina-PE.** Horticultura Brasileira, Brasília, v. 18, n. 1, p. 57, 2000.

FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. Revista Symposium, v.6, p.36-41, 2008.

FINGER, F. L.; CASALI, V. W. D. **Colheita, cura e armazenamento de cebola.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 23, n. 218, p. 93-98, 2002.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças.** Viçosa: UFV, 2005. 402 p.

IBGE. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola.** 2021. Disponível em:

http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/estProdAgr_201303.pdf. Acessado em 07 de maio de 2023.

LANCASTER, J. E.; FARRANT, J.; SHAW, M. L. **Sulfur Nutrition Affects Cellular Sulfur, Dry Weight Distribution, and Bulb Quality in Onion.**

Journal American Society Horticultural Science, Alexandria, v.126, n.2, p.164-168, 2001.

LOPES, J.F. 1987. Effects of planting dates and spacing on several characteristics of short day onion varieties grown in South Texas. College Station : College of Texas A & M University. 111p. (Tese PhD).

MASCARENHAS, M. H. T. Cebola. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 14, n. 163, p. 69- 73,1993.

MAY, A; CECÍLIO FILHO, A.B; PORTO, D.R.Q; VARGAS, P.F; BARBOSA, J.C. 2007. Efeitos de doses de nitrogênio e potássio e densidade populacional sobre a classificação de bulbos de cebola. Horticultura Brasileira 25: 396-401.

MORETTI, C.L. Colheita e manuseio pós-colheita. In: Sistema de produção de cebola. Sistemas de produção 5, versão eletrônica, 2004.

NASREEN S; HAQ SMI; HOSSAIN MA. 2003. Sulphur effects on growth responses and yield of onion. Asian Journal of Plant Sciences, p.897-902.

RANDLE, W. M. Onion flavor chemistry and factors influencing flavor intensity. ACS symposium series, v.660, p.41-42, 1997.

RESENDE, G. M.; CHAGAS, S. J. R.; PEREIRA, L.V. Características produtivas de cultivares de cebola no Sul de Minas Gerais. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 21, n.4, p. 722-725, 2003.

SANTOS, H.S; TANAKA, M.T; WATANABE, S.H; ARANTES, P.A.Z; IVONE, T.T. 2000. Produção de cebola em função de tamanho de muda e espaçamento. Horticultura Brasileira.18: 556- 557. Suplemento.

SIMON, P.W. Genetic analysis of pungency and soluble solids in long-storage onions. *Euphytica*, v.82, n.1, p. 1-8, 1995.

STOFFELLA, P.J. 1996. Planting arrangement and density of transplants influence sweet Spanish onion yields and bulbs size. *Hortscience* 31: 1129-1130.

SOUZA, L.F.G. Produtividade e qualidade da cebola em função de doses de enxofre. Universidade estadual paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de ciências agrárias e veterinárias Campus de Jaboticabal. Jaboticabal – São Paulo – Brasil. (Trabalho de dissertação), 2013.

VILELA, N. J.; MAKISHIMA, N.; OLIVEIRA, V. R.; COSTA, N. D.; MADAIL, J. C. M.; CAMARGO FILHO, W.; BOEING, G.; MELO, P. C. T. Desafios e oportunidades para o agronegócio de cebola no Brasil. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 23, n. 4, p. 1029-1033, 2005.

FINANCIAMENTO

“O trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil”

Capítulo 12

PRODUTIVIDADE COMERCIAL DE BULBOS DE CEBOLAS EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DE PLANTAS

Laura Ferreira Fidelis¹
Ildon Rodrigues do Nascimento ²

RESUMO

A cebola (*Allium cepa* L.) é uma das principais hortaliças cultivadas no Brasil. O estado do Tocantins não produz cebola comercialmente, sendo primordial a realização de trabalhos que possam relacionar o potencial do estado. Dentre os fatores que afetam a produtividade da cebola, a densidade de plantas é a mais importante. Verificar o efeito da densidade de plantas sobre o desempenho de cultivares de cebola é o objetivo deste trabalho. Um experimento foi instalado no ano 2024 na UFT, Câmpus de Gurupi em esquema fatorial 4 x 2 (quatro densidades: 270.000; 350.000; 420.000 e 510.000 plantas por hectare, respectivamente) e duas cultivares (Optima e Serena). Avaliou-se as características produtividade, massa média, diâmetro, comprimento e classificação dos bulbos. A produtividade de bulbo foi pouco afetada pela densidade de plantas. No híbrido Optima, a produtividade variou de 57 a 71 ton ha⁻¹ com massa média variando de 142,26 a 215,75 g bulbo⁻¹. Nesse híbrido, a classificação dos bulbos colhidos foi da classe 3 cheio. Com produtividade variando de 51,19 a 117,90 ton ha⁻¹, o híbrido Serena foi o mais produtivo. A massa dos bulbos variou de 120,92 a 232,71 g bulbo⁻¹ e os bulbos foram classificados nas classes 3; 3 cheia e 4.

Palavras-chave: *Allium cepa* L.; População de plantas; Qualidade de bulbos.

¹Aluna do ensino médio, Bolsista PIBIC/CNPq, UFT, e-mail: laurafidelis2008@gmail.com

²Engº Agrônomo Dr. em Genética e Melhoramento de Plantas, Professor UFT – Campus de Gurupi, e-mail: ildon@uft.edu.br

INTRODUÇÃO

A cebola (*Allium cepa* L.) é originária da região compreendida pelo Afeganistão, Irã e Paquistão. Pertence à família Alliaceae, juntamente com outras espécies de utilização condimentar, e é classificada botanicamente como *Allium cepa* L. Trata-se de uma espécie bienal que, em condições normais, produz bulbos no primeiro ano, a partir das sementes, e sementes no segundo ano, a partir dos bulbos. As plantas são herbáceas, com folhas ocas e cobertas por uma camada cerosa. O pseudocaule é formado pela superposição das bainhas carnosas das folhas. O sistema radicular é do tipo fasciculado, com poucas ramificações, alcançando até 60 cm de profundidade.

Externamente são envoltos por túnicas brilhantes, de coloração variável. O caule verdadeiro situa-se na base do bulbo de onde partem as folhas e raízes.

No Brasil, a cebola destaca-se ao lado da batata e do tomate, como as olerícolas economicamente mais importantes pelo volume produzido de 1.700 mil toneladas em uma área de aproximadamente 52 mil ha⁻¹ (CGEA/IBGE, 2018, NUNES et al., 2014; SOUZA; RESENDE, 2002). O Brasil ocupa o 13º lugar no ranking mundial de produção de cebola e no ano de 2022 atingiu 1,66 milhão de toneladas em uma área de 49 mil hectares com produtividade média de 33,4 t ha⁻¹ (IBGE, 2022). Nos últimos anos, a cebolicultura nacional tem-se expandido para outras regiões, em especial a região nordeste do país onde se tem atingido os maiores patamares de produtividade (SANTOS et al., 2019).

A qualidade final dos bulbos da cebola é bastante influenciada pelo manejo recebido na pós-colheita, contudo características como tamanho, cor externa, formato de bulbos, pungência e teor de sólidos solúveis são bastante variáveis e dependem principalmente das

características genéticas de cada cultivar (SIMON, 1995; MORETTI, 2004).

Entre as características importantes na pós-colheita de cebolas, a pungência ou conteúdo de ácido pirúvico, teor de sólidos solúveis, acidez titulável e massa seca dos bulbos são as mais importantes (RESENDE et al., 2010). A composição química e as características sensoriais de sabor, cor e odor dos bulbos de cebola dependem principalmente do fator genético, mas também sofrem fortes influências de fatores ambientais, como as condições de cultivo, tratamentos culturais realizados durante o ciclo da cultura, manejo de nutrientes aplicados no plantio e cobertura, e também época de semeadura das mudas (RANDLE, 1997).

Busca-se através das práticas de manejo propiciar condições que auxiliem o genótipo adotado a expressar seu máximo potencial de forma a combinar características produtivas adequadas ao comércio que se traduzam em rentabilidade para o agricultor. Dentre os fatores de manejo fitotécnico determinantes à produção comercial de bulbos, destaca-se o estabelecimento da população ideal de plantas por hectare para cada cultivar e sistema de cultivo (Baier et al., 2009). No estado de São Paulo, os produtores rurais têm adensado suas lavouras e buscado novas distribuições espaciais de plantas com vistas à obtenção de bulbos uniformes de tamanho médio (50 a 70 mm) considerados de melhor padrão de qualidade (Cecílio Filho et al., 2006; May et al., 2007).

O ciclo da cultura também pode ser afetado pelo aumento da população de plantas. Dependendo da cultivar utilizada, pode-se acelerar (Baier et al., 2009) ou retardar (Lopes, 1987) progressivamente a maturação dos bulbos.

A competição entre plantas aumenta a concorrência por luz, água, CO₂, oxigênio e nutrientes minerais, modificando dessa forma o processo de bulbificação (MASCARENHAS, 1993). Segundo Cardoso & Costa (1999) o aumento da densidade de plantio promove a aceleração da maturação dos bulbos, sendo o cultivo em alta densidade um fator que leva ao menor crescimento da planta (MASCARENHAS, 1993), diminuição da massa média de bulbos, podendo ter grande influência na produtividade da cultura (FILGUEIRA, 2005; SANTOS et al., 2000).

O aumento da população de plantas pode contribuir para melhorar a exploração tanto do ambiente quanto da cultivar, tendo como consequência o aumento da produtividade. O adequado seria o estabelecimento de uma população ótima, que maximizaria a exploração desses fatores, garantindo a maior produtividade.

Estudos realizados por vários pesquisadores, nas condições de cultivo brasileiras, mostram que o número de plantas por área é o fator de suma importância na obtenção de elevada produção (ANEZ & TAVIRA, 1986; COSTA et al., 2000). Mascarenhas et al. (1993) afirmam que a baixa qualidade e produtividade da cebola são atribuídas à densidade de plantio inadequada.

A produtividade, a produção comercial e a proporção de bulbos com menor massa média aumentaram em função do incremento na densidade mediante redução no espaçamento entre linhas e entre plantas (BOFF et al., 1998; GALMARINI & GASPERA, 1995; LOPES, 1987; STOFFELLA, 1996). Assim, o estudo da densidade populacional torna-se de grande importância para que se possa ter êxito com a cultura da cebola.

Avaliar diferentes densidades de plantio sobre características agronômicas em genótipos de cebola na região sul do Tocantins foi o objetivo deste trabalho.

MÉTODO E MATERIAIS

O experimento foi implantado no período de outono/inverno na área experimental do Setor de Olericultura da Universidade Federal do Tocantins (UFT), no município de Gurupi, sul do Estado do Tocantins, tendo como referência as seguintes coordenadas geográficas: latitude 11° 44'42" S, longitude 49° 03'05 W Gr. e 276 m de altitude. O clima da região é do tipo tropical seco, com temperatura média anual variando de 26 a 27 °C. O solo da região é classificado como Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico.

O delineamento experimental utilizado será o delineamento em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial simples (4x2), sendo o primeiro fator constituído por quatro densidades de semeadura: D1 = 270.000 plantas por ha⁻¹; D2 = 350.000 plantas por ha⁻¹; D3 = 420.000 plantas por ha⁻¹; e D4 = 510.000 plantas ha⁻¹. O segundo fator é duas cultivares híbridas de cebola: Serena e Optma, ambas pertencentes à empresa Plantssed®. O experimento foi instalado com 4 repetições. A parcela experimental tem quatro linhas de plantio com um metro de comprimento. Como parcela útil será considerada as plantas das duas linhas centrais.

Foram utilizadas mudas obtidas em bandejas de poliestireno expandido "isopor" de 200 células, utilizando-se o substrato comercial Germinar®. As mudas foram produzidas em viveiro com sistema de irrigação por microaspersão. O transplante das mudas foi realizado 30 dias após a semeadura.

O espaçamento utilizado foi 0,25 cm entre linhas para todas as densidades, alterando-se apenas o espaçamento entre plantas dentro das linhas, que são 10,0 cm; 8,0 cm; 6,0 cm e 4,0 cm, respectivamente, representando as densidades.

A adutora de base foi feita conforme recomendado pela EMBRAPA (2007), segundo resultado da análise de solo. O controle de plantas daninhas, de pragas e doenças, serão realizados de acordo com a recomendação da cultura (EMBRAPA 2007).

A colheita foi realizada quando 80% das plantas se encontravam tombadas (estalo), de acordo com o ciclo de maturação do cultivar. Após a colheita, os bulbos foram levados para cura no laboratório por um período de 20 dias. Posteriormente foi procedido toalete eliminando-se os restos das raízes e da parte aérea.

As características avaliadas foram:

- Produtividade comercial de bulbos ($t\ ha^{-1}$): que foi obtida a partir da pesagem dos bulbos comerciais colhidos da parcela útil, e os resultados foram convertidos para $t\ ha^{-1}$.
- Peso médio dos bulbos comerciais (g): peso em gramas que foram obtidos a partir da pesagem dos bulbos comerciais em balança;
- Comprimento do bulbo (mm): medida do comprimento longitudinal dos bulbos comerciais que foi obtida com auxílio de paquímetro digital;
- Diâmetro do bulbo (mm): medida radial dos bulbos comerciais foram obtidas com auxílio de paquímetro digital;
- Classificação dos bulbos: foi obtido, segundo escala proposta por CEAGESP (2001), em que: Classe 0 ou refugo: menor que 15 mm; Classe 1: 15 a 35 mm; classe 2: 35 a 50 mm; Classe 3: 50 a 70 mm; Classe 3 cheio: 60 a 70 mm; Classe 4: 70 a 90 mm e Classe 5: Maior que 90 mm.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, com desdobramento dos efeitos qualitativos (densidade x híbridos). As médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade. Todas as análises foram feitas com o software Sisvar (Ferreira, 2008).

DADOS E DISCUSSÃO

A produtividade de bulbos de cebola é afetada por diferentes fatores, destacando-se a densidade de semeadura como uma das mais importantes. Neste trabalho, tanto a densidade de semeadura como os híbridos avaliados tiveram influência na produtividade de bulbos (Tabela 1). Percebe-se que quando se promove o aumento do número de plantas por metro linear, não houve diferença significativa na produtividade de bulbos até a densidade de 420.000 plantas ha⁻¹ dentro do híbrido Optima. Nesse híbrido, a densidade de 510.000 plantas difere das demais, com produtividade de 71,57 ton ha⁻¹. Esse mesmo comportamento foi observado dentro do híbrido Serena.

Entre os híbridos nas diferentes densidades avaliadas, diferença significativa foi observado apenas nas densidades de 420.000 e 510.000 plantas por ha⁻¹ (Tabela 1). Avaliando a influência da densidade de plantas sobre a produtividade, Lopes et al. (2004) constataram que no menor espaçamento foram obtidas a maior produtividade comercial do bulbo. Já Kanton *et al.* (2002) observaram aumento na produtividade com o incremento da densidade de plantio. Dellacecca & Lovato (2000), relataram resultados similares.

Tabela 1 – Médias para produtividade de bulbos em híbridos de cebola em função da densidade de semeadura. Gurupi – TO, 2024.

	Optima	Serena
D1*	57,54 Ab	55,68 Ab
D2	64,89 Ab	63,61 Ab
D3	60,96 Ab	51,59 Bb
D4	71,57 Ba	117,90 Aa

Densidades

Híbridos

*D1: 270.000; D2: 350.00; D3: 420.000 e D4: 510.000 plantas por ha⁻¹, respectivamente.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha indica diferença entre híbridos e por letras minúsculas indica diferença entre densidades de semeadura pelo teste de Scott & Knott (1977).

Espera-se que o aumento da densidade de plantio proporcione redução na massa média do bulbo, fato relatado por Santos *et al.* (2000) para a cultivar Texas Grano 502. Por outro lado, avaliando a mesma cultivar, Sabota & Downes (1981) não observaram diferenças significativas para essa característica nas duas populações de plantas (192.940 e 257.320 plantas ha⁻¹). Neste trabalho observou-se que o aumento da densidade promoveu redução no peso médio dos bulbos na cultivar Optima, que teve maior massa de bulbos na densidade de 210.00 e 350.000 plantas ha⁻¹, diferindo estatisticamente das outras densidades avaliadas (Tabela 2). Já no híbrido Serena, apenas a densidade de 420.000 plantas ha⁻¹ promoveu bulbos de menor peso médio, diferindo estatisticamente das demais densidades avaliadas. Quando se compara a diferença entre os híbridos, apenas essas as densidades de 420.000 e 510.000 foram capazes de promover diferença significativa entre os híbridos para essa característica.

Tabela 2 – Médias para massa média de bulbos em híbridos de cebola em função da densidade de semeadura. Gurupi – TO, 2024.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO
DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

	Optima	Serena
D1*	215,75 Aa	208,79 Aa
D2	187,19 Aa	183,49 Aa
D3	142,88 Ab	120,93 Bb
D4	141,26 Bb	232,71 Aa

Densidades

Híbridos

*D1: 270.000; D2: 350.00; D3: 420.000 e D4: 510.000 plantas por ha⁻¹, respectivamente.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha indica diferença entre híbridos e por letras minúsculas indica diferença entre densidades de semeadura pelo teste de Scott & Knott (1977).

O diâmetro dos bulbos teve influência das densidades de semeadura no híbrido Optima (Tabela 3). Ficou evidente que o aumento da densidade de plantas tende a diminuir o diâmetro dos bulbos, com formação de dois grupos de média. Já no híbrido Serena, apenas a densidade de 420.000 plantas ha⁻¹ diferiu estatisticamente das demais. Estes resultados que corroboram com os de Viegas D'Abreu (1996), que obteve aumento diâmetro do bulbo na maior densidade, assim como os obtidos por Stoffella (1996) que verificou maior porcentagem de bulbos pequenos e médios nos menores espaçamentos, e Rumpel & Felczynski (2000). Lopes (1987) constatou para diferentes cultivares que o incremento da densidade promove redução no diâmetro.

Diferença estatística entre os híbridos dentro das densidades só foi observado na densidade de 510.000 plantas ha⁻¹ (Tabela 3), o que demonstra que o diâmetro do bulbo é mais dependente da densidade

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

de plantas do que do efeito do híbrido avaliado quando este é adaptado ao local de cultivo.

Tabela 3 – Médias para diâmetro de bulbos em híbridos de cebola em função da densidade de semeadura. Gurupi – TO, 2024.

Densidades D1*

D2

Optima

69,65 Aa

67,79 Aa

Híbridos

Serena

72,15 Aa

68,73 Aa

D3	62,95 Ab	58,95 Ab
----	----------	----------

D4	62,61 Bb	74,06 Aa
----	----------	----------

*D1: 270.000; D2: 350.00; D3: 420.000 e D4: 510.000 plantas por ha⁻¹, respectivamente.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha indica diferença entre híbridos e por letras minúsculas indicam diferença entre densidades de semeadura.

O comprimento médio do bulbo é importante por definir o formato e a qualidade final do bulbo. Sobre esse aspecto, bulbos de comprimento maior tendem a serem menos aceito no mercado, quando essa relação é muito diferente dos valores observados para o diâmetro. Neste trabalho, foi observado que o aumento da densidade de plantas promoveu redução do comprimento dos bulbos, sendo

diferente estatisticamente das demais densidades no híbrido Optima na densidade de 270.000 plantas ha⁻¹ que tendem a produzir bulbos de comprimento maior (Tabela 4). Já no híbrido Serena, houve a formação de dois grupos de médias, destacando-se as densidades de 350.000 e 510.000 que tendem a produzir bulbos de maior comprimento médio. Quando a comparação é feita entre os híbridos, as densidades de 270.000 e 510.000 foram as que promoveram a diferença entre as médias.

Quando se relaciona o diâmetro dos bulbos com o comprimento dos bulbos, fica evidente que os valores ficaram próximo de 1,0, o que sobre o ponto de vista comercial é aceitável uma vez que esse valor remete a formato de bulbos globular ou globular achatado, o que é preferível pelo mercado.

De maneira geral, os consumidores brasileiros preferem cebolas com bulbos globulares, com casca de coloração avermelhada semelhante à cor do pinhão. Visando atender estas exigências, deve-se optar por cultivares de polinização aberta ou híbridas que proporcionem uma colheita uniforme, dentro da época programada.

Tabela 4 – Médias para comprimento de bulbos em híbridos de cebola em função da densidade de semeadura. Gurupi – TO, 2024.

	Optima	Serena
D1*	76,81 Aa	51,96 Bb
D2	72,83 Ab	72,48 Aa
D3	67,20 Ab	65,67 Ab

Densidades

Híbridos

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO
DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

D4 65,06 Bb 81,50 Aa

*D1: 270.000; D2: 350.00; D3: 420.000 e D4: 510.000 plantas por ha⁻¹, respectivamente.

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha indica diferença entre híbridos e por letras minúsculas indica diferença entre densidades de semeadura.

O tamanho que possui maior demanda no país é o chamado “caixa 3”, no qual o bulbo tem entre 50 e 60 milímetros de diâmetro. Nessa classe de tamanho a cebola apresenta maior rentabilidade ao produtor e um desenvolvimento mais equilibrado nutricionalmente durante a formação das plantas e dos bulbos, que resultará também, ao final, em melhores aspectos de casca e pós-colheita. Nesse trabalho, houve predomínio de bulbos de cebola dentro das classes 3, 3 cheio e 4.

Tabela 5 – Classificação dos bulbos de híbridos de cebola em função da densidade de semeadura segundo escala do CEAGESP. Gurupi – TO, 2024.

	Optima	Serena
D1*	3 cheio	4
D2	3 cheio	3 cheio
D3	3 cheio	3
D4	3 cheio	4

Densidades

Híbridos

*D1: 270.000; D2: 350.00; D3: 420.000 e D4: 510.000 plantas por ha⁻¹, respectivamente.

Em função dos resultados obtidos, percebe-se que a densidade de semeadura interfere na produtividade de bulbos de cebola, com tendência da produtividade e massa média dos bulbos reduzirem com o número de plantas por hectare. Em populações menores produz, geralmente, baixos rendimentos e alta porcentagem de bulbos médios e grandes. Em cultivos com densidades maiores que a ótima, se têm bulbos pequenos e desuniformes de qualidade comercial inferior, comparativamente ao cultivo em densidade adequada (Resende & Costa, 2005).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produtividade de bulbo foi pouco afetada pela densidade de plantas.

No híbrido Optima, a produtividade variou de 57 a 71 ton ha⁻¹ com massa média variando de 142,26 a 215,75 g bulbo⁻¹. Nesse híbrido, a classificação dos bulbos colhidos foi da classe 3 cheio. Com produtividade variando de 51,19 a 117,90 ton ha⁻¹, o híbrido Serena foi o mais produtivo.

A massa dos bulbos variou de 120,92 a 232,71 g bulbo⁻¹ e os bulbos foram classificados nas classes 3; 3 cheia e 4.

REFERÊNCIAS

ANEZ, R. B.; TAVIRA, D. E. Aplicacion de N, P y K a diferentes poblaciones de plantas de cebolla. Turrialba, San José, v. 36, n. 2, p. 163-170, 1986.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTALIÇAS. 2021/22 - Retrospectiva 2021 e Perspectiva 2022 . Brazilian vegetable yearbook. Santa Cruz do Sul: Gazeta. 90p.

BAIER, J.E; RESENDE, J.T.V; GALVÃO, A.G; BATTISTELLI, G.M; MACHADO, M.M; FARIA, M.V. 2009. Produtividade e rendimento comercial de bulbos de cebola em função da densidade de cultivo. Ciência & Agrotecnologia 33: 496-501.

BOEING, G. Síntese anual da agricultura de Santa Catarina 2005 – 2006. Cultura da cebola. 2006. Disponível em: <http://cepa.epagri.sc.gov.br/Publicacoes/>. Acesso em 21 de agosto de 2013.

BOFF, P; HENRI, S; GONÇALVES, P.A.S. 1998. Influência da densidade de plantas na ocorrência de doenças foliares e produção de bulbos de cebola. Fitopatologia Brasileira 23: 448- 452

CARDOSO, A. I. I.; COSTA, C. P. da. Produção de bulbilhos de cebola em bandejas de isopor. Scientia Agrícola, Piracicaba, v. 56, n. 4, p. 969-974, 1999.

CARVALHO, P. G. B.; MACHADO, C. M. M. Características nutricionais. Disponível em: <Companhia De Entrepósitos e Armazéns Gerais Do Estado De São Paulo_CEAGESP. Programa Brasileiro para a melhoria dos padrões comerciais e embalagens de hortigranjeiros. São Paulo, 2001.

CECÍLIO FILHO, A.B; MAY, A; PÔRTO, D.R.Q; STEIN, R.C; VARGAS, P.F. 2006. Produtividade e qualidade de bulbos de duas cultivares de cebola em função da população de plantas, em semeadura direta. Revista Caatinga 19: 146-152.

COSTA, N. D.; RESENDE, G. M. de; DIAS, R. de C. S. Avaliação de cultivares de cebola em Petrolina-PE. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 18, n. 1, p. 57, 2000.

FERREIRA, D.F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. Revista Symposium, v.6, p.36-41, 2008.

FINGER, F. L.; CASALI, V. W. D. Colheita, cura e armazenamento de cebola. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 23, n. 218, p. 93-98, 2002.

FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, 2005. 402 p.

IBGE. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. 2021. Disponível em:

http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/estProdAgr_201303.pdf. Acessado em 07 de maio de 2023.

LANCASTER, J. E.; FARRANT, J.; SHAW, M. L. Sulfur Nutrition Affects Cellular Sulfur, Dry Weight Distribution, and Bulb Quality in Onion. Journal American Society Horticultural Science, Alexandria, v.126, n.2, p.164-168, 2001.

LOPES, J.F. 1987. Effects of planting dates and spacing on several characteristics of short day onion varieties grown in South Texas. College Station : College of Texas A & M University. 111p. (Tese PhD).

MASCARENHAS, M. H. T. Cebola. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 14, n. 163, p. 69- 73, 1993.

MAY, A; CECÍLIO FILHO, A.B; PORTO, D.R.Q; VARGAS, P.F; BARBOSA, J.C. 2007. Efeitos de doses de nitrogênio e potássio e densidade populacional sobre a classificação de bulbos de cebola. Horticultura Brasileira 25: 396-401.

MORETTI, C.L. Colheita e manuseio pós-colheita. In: Sistema de produção de cebola. Sistemas de produção 5, versão eletrônica, 2004.

NASREEN S; HAQ SMI; HOSSAIN MA. 2003. Sulphur effects on growth responses and yield of onion. Asian Journal of Plant Sciences, p.897-902.

RANDLE, W. M. Onion flavor chemistry and factors influencing flavor intensity. ACS symposium series, v.660, p.41-42, 1997.

RESENDE, G. M.; CHAGAS, S. J. R.; PEREIRA, L.V. Características produtivas de cultivares de cebola no Sul de Minas Gerais. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 21, n.4, p. 722-725, 2003.

SANTOS, H.S; TANAKA, M.T; WATANABE, S.H; ARANTES, P.A.Z; IVONE, T.T. 2000. Produção de cebola em função de tamanho de muda e espaçamento. Horticultura Brasileira.18: 556- 557. Suplemento.

SIMON, P.W. Genetic analysis of pungency and soluble solids in long-storage onions. Euphytica, v.82, n.1, p. 1-8, 1995.

STOFFELLA, P.J. 1996. Planting arrangement and density of transplants influence sweet Spanish onion yields and bulbs size. Hortscience 31: 1129-1130.

SOUZA, L.F.G. Produtividade e qualidade da cebola em função de doses de enxofre. Universidade estadual paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de ciências agrárias e veterinárias Campus de Jaboticabal. Jaboticabal – São Paulo – Brasil. (Trabalho de dissertação), 2013.

VILELA, N. J.; MAKISHIMA, N.; OLIVEIRA, V. R.; COSTA, N. D.; MADAIL, J. C. M.;CAMARGO FILHO, W.; BOEING, G.; MELO, P. C. T. Desafios e

oportunidades para o agronegócio de cebola no Brasil. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 23, n. 4, p. 1029-1033, 2005.

FINANCIAMENTO

“O trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil”

Capítulo 13

Eficiência de *Trichoderma* no biocontrole e como promotor de crescimento vegetal na cultura arroz

Camille França Barbosa¹
Lillian França Borges Chagas²

RESUMO

Fungos do gênero *Trichoderma* são capazes de promover o crescimento vegetal de plantas e aumentar a produtividade agrícola. O objetivo deste estudo foi avaliar o uso de *Trichoderma asperellum* UFT- 201 como promotor de crescimento vegetal na cultura de arroz (*Oryza sativa* L.). O experimento foi conduzido em esquema fatorial, com duas épocas de amostragem e cinco doses do inoculante aplicado no tratamento de sementes da cultura do arroz. O cultivo foi implantado em casa de vegetação, utilizando-se solo de várzea sem correção da fertilidade. Aos 30 e 45 dias após a semeadura foram determinados parâmetros morfológicos, de acúmulo de biomassa. Os resultados foram analisados por análise de variância ($p \leq 0,05$) e as regressões ajustadas conforme o nível de significância. O fungo *Trichoderma asperellum* aumentou a biomassa de plantas de arroz.

Palavras-chave: Microbiologia, Fungo, Biomassa

¹Graduando em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia, Pibic/CNPq, Universidade Federal do Tocantins, gomes.vitoria@mail.uft.edu.br.

² Professora do curso de Agronomia da Universidade Federal do Tocantins (UFT) – Campus de Gurupi, lillianfbc@uft.edu.br

INTRODUÇÃO

Produtos biológicos estão em crescente demanda no manejo de grandes culturas no Brasil e no mundo. Entre os diferentes produtos microbianos registrados no Brasil, destaca-se o fungo pertencente ao gênero *Trichoderma*, tanto para o controle de patógenos radiculares ou habitantes do solo e substrato como promotores de crescimento vegetal (MASCARIN et al., 2019).

O gênero *Trichoderma* apresenta alta diversidade genética (PLESSIS et al., 2018) e pode ser usado para produzir uma ampla variedade de produtos de interesse. As espécies de *Trichoderma* se adaptaram a vários ecossistemas, desempenham papel importante na saúde deles. Esses fungos são componentes predominantes da microbiota tanto em solos nativos quanto em solos agrícolas. Sendo capazes de colonizar raízes das plantas, e alguns também colonizam a parte aérea e podem se desenvolver endofiticamente (GUZMÁN-GUZMÁN et al., 2019).

A superfície total do sistema radicular da planta, pode ser aumentada por linhagens de *Trichoderma*, possibilitando assim um maior acesso aos elementos minerais nele presentes. Além disso, algumas espécies são capazes de solucionar e disponibilizar para a planta o fosfato de rocha, ferro, cobre, manganês e zinco. Bem como, melhorar os mecanismos ativos de absorção de macro e micronutrientes e, ainda, aumentar a eficiência da planta para utilizar alguns nutrientes importantes, como o nitrogênio (DAS et al., 2017; WOO & PEPE, 2018; MENDOZA-MENDOZA et al., 2018). Podem influenciar positivamente na germinação de sementes, no desenvolvimento e rendimento da cultura devido, também, à produção de substâncias promotoras de crescimento e melhoria na nutrição das plantas, principalmente pela solubilização de fósforo, síntese de ácido indol acético (CHAGAS et al., 2017), como agentes de controle de doenças de

várias plantas cultivadas e indutores de resistência de doenças nas plantas (WOO & PEPE, 2018; MENDOZA & MENDOZA et al., 2018).

OBJETIVO

Avaliar a eficiência de isolados de *Trichoderma* no biocontrole dos principais patógenos das culturas do arroz e como promotores de crescimento vegetal, através da capacidade de solubilização de fosfato e síntese de ácido indol acético, e os efeitos da inoculação de isolados de *Trichoderma* em arroz em casa-de-vegetação.

MÉTODO E MATERIAIS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na estação experimental da Universidade Federal do Tocantins, Campus de Gurupi, localizado na região sul do Estado do Tocantins (11°43'45" S, 49°04'07" W, 280 m altitude). O clima regional é do tipo B1wA'a' úmido com moderada deficiência hídrica, e temperatura média anual de 29,5 °C com precipitação média anual de 1600 mm (SEPLAN, 2012).

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial 2x5. O primeiro fator foi duas épocas de amostragem, 30 e 45 dias após a semeadura (DAS), e o segundo doses do inoculante (0, 3, 6, 9, 12 g kg⁻¹ de semente) de *Trichoderma asperellum* aplicado diretamente na semente antes do semeio da cultura do arroz cultivar IRGA 431, amplamente cultivada em solos de várzea, apresentando as seguintes características: porte baixo; grãos longos e finos, altura de 96 cm, resistente a acamamento, ciclo de 120 dias e reação resistente a moderada as principais doenças.

A cepa utilizada foi obtida no acervo da micoteca do Laboratório de Agro Microbiologia Aplicada e Biotecnologia da Universidade Federal

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

do Tocantins (UFT/PPGPV) (Tabela 1). A cepa foi utilizada por ter apresentado características como promotora de crescimento vegetal em testes de laboratório. O inoculante utilizado foi preparado em fermentação sólida utilizando arroz como substrato, conforme metodologia descrita por Chagas et al. (2017a).

Tabela 1. Códigos de acesso no GenBank para o isolado *Trichoderma asperellum* UFT-201 (Região TEF-translation elongation factor) utilizados neste estudo.

Isolado	Identificação espécie	do Acesso GenBank	Similaridade	Referência
201	<i>T. asperellum</i> 04-217	GJSDQ381958	99%	Samuels et al (2010)

O solo utilizado foi de várzea, coletado na camada de 0-20 cm no município de Formoso do Araguaia, TO, com histórico de cultivo da cultura do arroz, apresentando as seguintes características químicas e físicas: pH: 6,4 em CaCl₂, 250 g kg⁻¹ de argila, matéria orgânica: 3,0 dag kg⁻¹, 30,7 mg dm⁻³ de P, 6,2 cmol dm⁻³ de Ca, 3,7 cmol dm⁻³ de Mg e 0,0 cmol dm⁻³ de Al. Os vasos (unidades experimentais) utilizados foram de 1,7 L para avaliações aos 30 dias após a semeadura (DAS) e 3,8 L para avaliações aos 45 DAS, preenchidos com solo em terra fina seca ao ar sem correção da fertilidade. Foram semeadas 10 sementes de arroz vaso⁻¹ e após 15 dias foi realizado o desbaste deixando cinco plantas vaso⁻¹. Foi realizada a irrigação sempre que necessária e tentando manter a capacidade de campo.

Aos 30 e 45 DAS foram determinados a altura de plantas em cm, com auxílio de uma régua graduada e o volume de raiz (VR) em mL pelo método da proveta. Em seguida, as plântulas foram separadas em folhas, caule e raiz para determinação da massa seca a 65 °C em estufa com circulação forçada a ar por 72 horas até obter peso

constante em balança analítica (0,001 g). Dessa forma determinou-se a massa seca da raiz (MSR) e a total (MST).

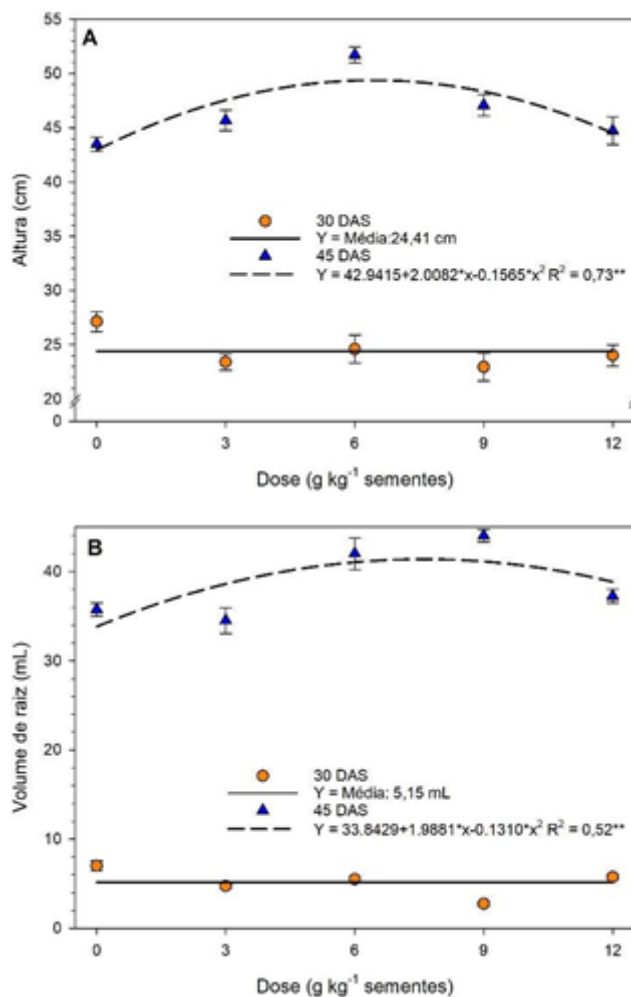
RESULTADOS FINAIS

Os resultados foram avaliados por análise de variância (ANOVA, $p \leq 0,05$), e os modelos de regressões polinomiais ajustados conforme o nível de significância ($p \leq 0,05$). Foi realizado o desdobramento em caso de interação significativa entre os fatores. As análises e gráficos foram realizados no *software* R versão 4.0 (Team, 2020).

O uso de *Trichoderma asperellum* UFT-201 no tratamento de sementes da cultivar de arroz IRGA 431 promoveu, de modo geral, efeitos significativos nos parâmetros morfológicos e de biomassa aos 30 e 45 dias após a semeadura (DAS), com efeito mais acentuado aos 45 DAS. A interação ocorreu em todos os parâmetros ($p \leq 0,05$), exceto os fisiológicos que apresentou efeito isolado do uso de *T. asperellum*.

Na figura 1 são apresentados os gráficos de altura (A) e volume de raiz (B). Aos 45 DAS, a altura teve ajuste quadrático ($R^2 = 0,75$, $p = 0,0001$), e máxima eficiência técnica (MET) em $6,4 \text{ g kg}^{-1}$, com um aumento de 11,9% (49,4 cm) em relação ao controle, que obteve apenas 43,5 cm de altura. O volume de raiz teve ajuste quadrático ($R^2 = 0,52$, $p = 0,0002$), onde a melhor dose $7,6 \text{ g kg}^{-1}$ incrementou 13,6% (41,4 mL) em relação ao controle que teve volume de 35,8 mL.

Figura 1. Altura (A) e volume de raiz (B) de plantas de arroz (*Oryza Sativa* L.) sob doses de *Trichoderma asperellum*



Esses efeitos podem ser atribuídos à capacidade do fungo em produzir ácido indol-acético (AIA) e hormônio do crescimento que têm a capacidade promover o alongamento celular e formação de raízes secundárias nas plantas (Oliveira et al., 2012; Chagas et al., 2016). Também estão associados aos mecanismos de bioestimulação que o fungo promove sobre as raízes, aumentando a capacidade de absorção de nutrientes e água (Machado et al., 2012; Woo e Pepe, 2018; Mendoza-Mendoza et al., 2018).

Utilizando uma cepa nativa de *Trichoderma* sp. na concentração de 1×10^{-8} UFC mL⁻¹, Antonio et al. (2020) observaram incrementos entre 19 e 35% do comprimento e volume das raízes (1,60 mL do melhor tratamento contra 0,57mL do controle) em mudas de arroz da

variedade SLF11. Kurrey et al. (2018) utilizando *Trichoderma* com hidrogel, também observou resultados positivos na cultura do arroz, mostrando crescimento e desenvolvimento de raízes e produtividade.

Os fungos do gênero *Trichoderma* podem sintetizar e liberar fito hormônios como auxinas, citocininas e giberelinas, que atuam no tecido meristemático, ativando a reprodução celular, resultando em um desenvolvimento mais acelerado da raiz (Waris et al., 2017). De acordo com Hoyos-carvajal, Orduz & Bissett et al. (2009) testando cepas de *Trichoderma*, houve a produção de hormônios de crescimento como AIA ou análogos, mecanismo pelo qual há a promoção de crescimento vegetal.

A interação do *Trichoderma* com plantas de arroz promoveu uma comunicação multicelular da parte aérea com raiz produzindo auxinas, metabólitos voláteis e não voláteis, que promovem a ramificação radicular da planta (Meyer et al., 2019).

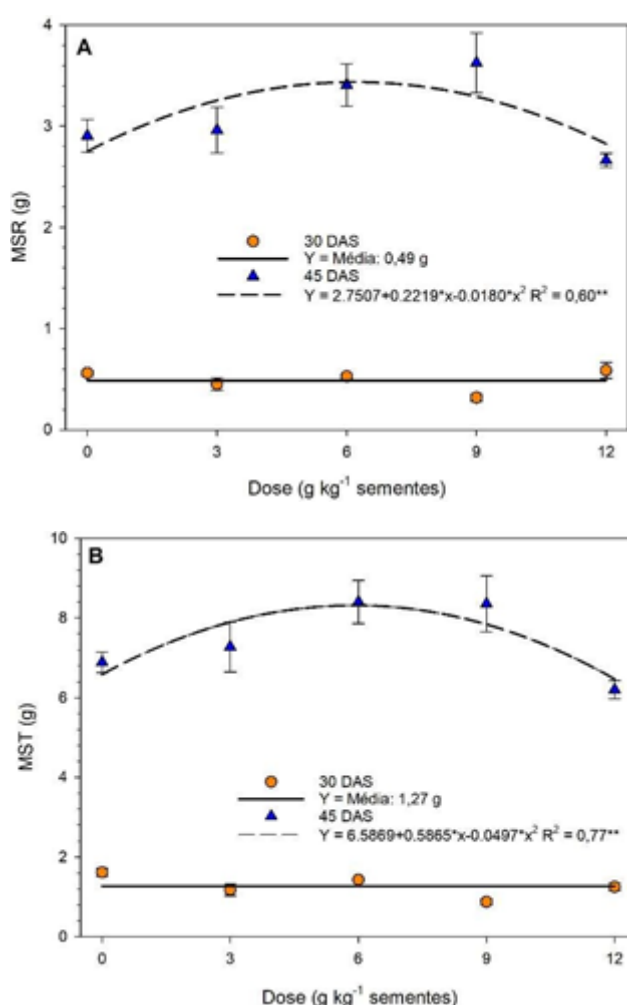
Na figura 2 estão os gráficos de massa seca da raiz (MSR) (A) e total (MST) (B). Aos 45 DAS, a MSR, teve melhor resposta com 6,2 g kg⁻¹, um incremento significativo de 15,6% (3,4 g) contra o controle que obteve um peso de 2,9 g ($R^2 = 0,60$, $p = 0,00035$). A MST, com ajuste quadrático ($R^2 = 0,77$, $p = 0,0008$) teve melhor resultado de 8,3 g com MET 5,9 g kg⁻¹, e um aumento de 17,3%, um aumento considerável em relação ao controle (6,9 g).

Esses efeitos estão associados à capacidade do fungo em solucionar diferentes fosfatos orgânicos e síntese de AIA, atuando como promotor de crescimento vegetal (Machado et al., 2012; Oliveira et al., 2012; Chagas et al., 2017b).

Isolados de *Trichoderma* foram caracterizados in vitro por Silva et al. (2012), que concluíram que houve expressiva produção de fosfatase,

células e AIA, em condições de laboratório. Estes mesmos isolados cultivados com plantas de arroz em casa de vegetação, obtiveram aumento de 61% e 33% na biomassa da parte aérea e da parte radicular, respectivamente, corroborando com os resultados no presente trabalho e comprovando o potencial do fungo como promotor de crescimento vegetal.

Figura 2. Massa seca da raiz (A) e massa seca total (B) de plantas de arroz (*Oryza Sativa* L.) sob doses de *Trichoderma asperellum*



Esses resultados demonstram que *T. asperellum* UFT 201 pode promover efeitos expressivos no aparato fotossintético das plantas ao longo do ciclo da cultura do arroz (>45 DAS), com potencial de aumentar sua produtividade. Porém, novos estudos precisam ser realizados para confirmar esta hipótese, uma vez que a produtividade

é resultado do acúmulo e translocação dos carboidratos dos órgãos reservas para os grãos (Taiz et al., 2017).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O fungo *Trichoderma asperellum* UFT-201 inoculado via semente aumentou o volume radicular e a biomassa das plantas de arroz na dose de 6 g kg⁻¹ de sementes. Assim, este isolado pode ser considerado um inoculante promotor de crescimento vegetal em arroz.

REFERÊNCIAS

CATTELAN, A. J. Métodos quantitativos para determinação de características bioquímicas e fisiológicas associadas com bactérias promotoras do crescimento vegetal. Londrina: Embrapa Soja. 36 p. 1999. (Embrapa Soja. Documentos, 139).

CHAGAS, L. F. B.; MARTINS, A. L. L.; CARVALHO FILHO, M. R.; MILLER, L. O.; OLIVEIRA, J. C.; CHAGAS JUNIOR, A. F. O *Bacillus subtilis* e *Trichoderma* spp. no incremento da biomassa em plantas de soja, feijão-caupi, milho e arroz. *Agri-Environmental Sciences*, v. 03, n. 2, p. 10-18. 2017.

DAS, T.; MAHAPATRA, S.; DAS, S. In vitro compatibility study between the *Rhizobium* and native *Trichoderma* isolates from lentil rhizospheric soil. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, v. 6, n. 8, p. 1757-1769, 2017.

GUZMÁN-GUZMÁN, P.; PORRAS-TRONCOSO, M. D.; OLMEDO-MONFIL, V.; HERRERA- ESTRELLA, A. *Trichoderma* species: versatile plant symbionts. *Phytopathology*, v. 109, n. 1, p. 6- 16, 2019.

HARA, F.A.S.; OLIVEIRA, L.A. Características fisiológicas e ecológicas de rizóbios oriundos de solos ácidos de Iranduba, Amazonas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 40, n. 7, p. 667-672, 2005.

MASCARIN, G. M.; MATSUMURA, A. T. S.; WEILER, C. A.; KOBORI, N. N.; SILVA, M. E.; BERLITZ, D. L.; MATSUMURA, A. S. Produção industrial de *Trichoderma*. In: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (Eds.). *Trichoderma: Uso na Agricultura*. Brasília, DF: Embrapa. 2019. p. 255-274

MENDOZA-MENDOZA, A.; ZAID, R.; LAWRY, R.; HERMOSA, R.; MONTE, E.; HORWITZ, B. A.; MUKHERJEE, P. K. Molecular dialogues between *Trichoderma* and roots: role of the fungal secretome. *Fungal Biology Reviews*, v. 32, n. 2, p. 62-85, 2018.

PLESSIS, I. L.; DRUZHININA, I. S.; ATANASOVA, L.; YARDEN, O.; JACOBS, K. The diversity of *Trichoderma* species from soil in South Africa, with five new additions. *Mycologia*, v. 110, n. 3, p. 559-583, 2018.

WOO, S. L.; PEPE, O. Microbial consortia: promising probiotics as plant biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, v. 9, p. 1801, 2018.

FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

Capítulo 14

SISTEMAS AGRÍCOLAS PARA CULTIVO DE SOJA NO CERRADO

Anna Carolina Dias de Souza ¹

Rodrigo Ribeiro Fidelis ²

RESUMO

A soja (*Glycine max*) é uma das principais culturas do Brasil, sendo utilizada como fonte de proteína, óleo e matéria-prima em diversos setores. A baixa capacidade de retenção de água dos solos, aliada à alta demanda evapotranspirativa da atmosfera, faz com que os veranicos causem sérios decréscimos na produtividade da soja em monocultivo. O presente estudo objetivou analisar a viabilidade de sistemas de culturas para o cultivo de soja na região do Tocantins. O experimento foi conduzido em uma das unidades experimentais da Universidade Federal do Tocantins, *Campus Gurupi* – TO, no período de 2023/2024. O delineamento utilizado foi de blocos casualizados com cinco repetições, sendo que cada unidade experimental representou um sistema de cultura. Os sistemas de cultura avaliados foram: Monocultivo de soja (safra); Sucessão de culturas (soja/safra e gergelim/safrinha) e; Sistema de semeadura direta com sucessão (soja/safra, gergelim/safrinha e mombaça/entressafra). A semeadura foi realizada com auxílio de uma semeadora-adubadora de plantio direto, com espaçamento de 0,5 m e 18 a 20 sementes por metro linear. A cultivar de soja utilizada foi GH 2478. Para os sistemas que envolvem a cultura do gergelim, utilizou-se a cultivar K3. O sistema Soja/gergelim/mombaça destacou-se compondo sempre o grupo estatístico de maior média para todas as características avaliadas envolvendo a cultura da soja. Quanto à cultura do gergelim, destacou-se o sistema composto por gergelim e capim Mombaça. O sistema Soja/feijão-caupi/mombaça promoveu uso mais eficiente da área agrícola e, provavelmente, maior rentabilidade no cultivo de soja.

Palavras-chave: Uso do solo; Produtividade; Sistema de plantio direto.

¹ Graduanda em Agronomia, Pibic/CNPq, Universidade Federal do Tocantins, carolina.anna@mail.uft.edu.br

² Doutor em Fitotecnia, Curso de Agronomia, Universidade Federal do Tocantins, fidelisrr@uft.edu.br

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max*) é considerada uma das mais importantes culturas por ser fonte de proteínas para consumo animal, óleo para consumo humano e também é utilizado como subproduto em diversos setores. Com produção de cerca de 154,6 milhões de toneladas do grão no ano de 2022/23, com crescimento de 23,2 % em relação à safra anterior, se torna evidente o papel de destaque da soja como o principal produto agrícola produzido no país neste ano (CONAB, 2023).

O cerrado é a principal região responsável pelo crescimento da produção de soja no país, nele está localizado o MATOPIBA (região que compreende parte do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia) que é considerada a última fronteira agrícola brasileira e responde por 10% da produção nacional de grãos com perspectivas de triplicar sua produção nos próximos anos (HORVAT et al., 2015).

A baixa capacidade de retenção de água dos solos, aliada à alta demanda evapotranspirativa da atmosfera, faz com que os veranicos causem sérios decréscimos na produtividade da soja em monocultivo, inviabiliza cultivos em consórcio (soja/milho ou soja/feijão-caupi), e compromete sistemas de cultivo envolvendo integração lavoura pecuária (ILP). Além disso, o déficit hídrico reduz o acúmulo de massa seca da planta (CRUSCIOL et al., 2003b), os teores de nitrogênio (STONE, 1984), fósforo e potássio (STONE, 1985), cálcio e magnésio (CRUSCIOL et al., 2003a).

Para proporcionar segurança tanto hídrica quanto alimentar, é essencial adotar práticas agrícolas que favoreçam a preservação da capacidade do solo em absorver e fornecer água e nutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas. Desta forma, a busca por técnicas e/ou práticas culturais de baixo investimento que possibilitem aumentar a tolerância das plantas a períodos de déficit

hídrico, é de fundamental importância para reduzir as perdas da lavoura de soja no ecossistema cerrado. O sistema plantio direto (SPD) é uma excelente alternativa de manejo que concilia a manutenção e até mesmo a elevação da produção, com maior racionalidade dos insumos agrícolas empregados (SANTOS et al., 2008).

As principais vantagens destes sistemas estão relacionadas à maior produtividade das plantas, na diversificação da atividade agrícola, na recuperação de pastagens degradadas, na produção de forragem de qualidade no período de entressafra (logo após safra e safrinha), em melhorias dos atributos químicos, físicos e biológicos do solo e na diminuição da incidência de doenças, pragas e plantas daninhas nas áreas de cultivo (CHIODEROLI et al., 2012). A intensificação do uso do solo em áreas agrícolas tem por finalidade, diversificar e aumentar a eficiência dos sistemas agrícolas enquanto gera serviços ambientais como redução das emissões de gases de efeito estufa e melhora a qualidade da água e do solo, dentre outros (LEMAIRE et al., 2014).

Dessa forma, objetivou-se com este estudo analisar a viabilidade de sistemas de culturas para o cultivo de soja na região sul do Tocantins.

MÉTODO E MATERIAIS

O experimento foi conduzido em terras altas, no período de 2023/24, no município de Gurupi, na área Experimental da Universidade Federal do Tocantins, Campus de Gurupi, situada a 11° 44' de latitude e 49° 3' de longitude, e altitude de 300m, em solo do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (EMBRAPA, 2014). Segundo a classificação de Köppen (1948), o clima predominante na região é do tipo Aw, caracterizado por clima tropical úmido, com inverno seco e chuvas máximas no verão.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

O delineamento utilizado foi de blocos casualizados com cinco repetições, sendo cada unidade experimental um sistema agrícola. As parcelas foram constituídas pelos sistemas agrícolas: 1. Monocultivo de soja (safra); 2. Sistema de semeadura direta com sucessão soja/safra e gergelim/safrinha e; 3. Sistema de semeadura direta com sucessão soja/safra, gergelim/safrinha e mombaça/entressafra. Cada unidade experimental foi constituída por 24 m de largura e 50 m de comprimento. Para os tratamentos que envolveram semeadura direta sobre a palhada de forrageira, foi realizada a dessecação da área, um dia antes da semeadura, utilizando glifosato [N- (phosphonometil) glycina] na dose de 2,0 kg i.a. ha⁻¹.

A correção e adubação do solo foi realizada com base na análise de solo (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de solo.

Prof	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H + Al	MO	
cm		mg.dm	mg.dm	cmol.dmc	mol.dmc	mol.dm3	cmol.dm3	dag.kg	
		3	3	3	3				
0-20	6,0	25,4	83	2,2	0,6	0,0	1,5	1,7	
	CO	B	Cu	Fe	Mn	Zn	SB	T	V
	dag.k	mg.dm	mg.dm	mg.dm3	mg.dm3	mg.dm	cmol.dm3	cmol.dm3	%
	g	3	3			3			
0-20	1,0	0,14	0,8	37	2,0	1,3	3,01	4,51	67,0

Fonte: Autor (2024)

A semeadura da soja ocorreu em novembro de 2023, utilizando a cultivar GH 2478, com sementes inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* na dose recomendada pelo fabricante. Efetuou-se a adubação de base com NPK na formulação 4-30-10, utilizando a dose de 400 kg.ha⁻¹. A adubação de cobertura foi realizada 30 dias após a

semeadura na dose 133,35 kg.ha⁻¹ de K₂O usando como fonte o cloreto de potássio. A semeadura foi realizada utilizando semeadora-adubadora pneumática a vácuo de plantio direto, com espaçamento entre linhas de 0,5 m e 0,1 m entre plantas com 12 a 14 sementes por metro linear. Para o controle de plantas daninhas foi utilizado glifosato [N-(phosphonometil) glycina] na dose de 2,0 kg i.a. ha⁻¹.

Ao longo do desenvolvimento da cultura, a área foi mantida livre de plantas infestantes com capina manual. O controle de insetos foi realizado com a aplicação de inseticida dos grupos químicos Tiametoxam + Lambda-Cialotrina (0,125 L de p.c. por hectare).

Para os sistemas constituídos por gergelim no período de safrinha, foram utilizados 6 kg.ha⁻¹ da cultivar K3. As sementes de gergelim foram submetidas ao tratamento de sementes com dois produtos comerciais, um fungicida/nematicida e um inseticida, dos grupos químicos Tiofanato- metílico e Fluazinam (180 ml para cada 100 kg de sementes) e o Tiometoxam (200 ml para cada 100 kg de sementes), respectivamente. A semeadura ocorreu na primeira quinzena de março de 2024, através de semeadora-adubadora de plantio direto, com espaçamento entre linhas de 0,50 m e entre plantas de 0,20 m visando à obtenção de estande final com 15 plantas por metro linear. A adubação foi realizada com base nas recomendações para a cultura. Quanto ao manejo de pragas e doenças, foi utilizado o controle químico, e o manejo de plantas daninhas foi realizado manualmente sempre que necessário. No sistema composto pelo mombaça na entressafra, foram utilizados 4 kg.ha⁻¹ de sementes, semeadas a lanço na segunda quinzena de março de 2024.

No final do experimento, ao atingir o ponto de maturação, foram avaliadas as seguintes características para a cultura da soja: número de vagem por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP), número

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

de grãos por vagem (GV), a massa de cem grãos (M100), a altura de planta (AP em centímetros) e produtividade de grãos (PROD em kg.ha⁻¹): com correção para 13% do teor de umidade no grão. Para a cultura do gergelim a característica avaliada foi a Produtividade de grãos (PROD em kg ha⁻¹).

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância no software SISVAR, com aplicação do teste F. Para as comparações entre as médias dos sistemas utilizou-se o teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

DADOS E DISCUSSÃO

Sistemas envolvendo o cultivo de soja

Ao observar a análise de variância (Tabela 2), verificou-se diferença entre os sistemas avaliados para as características de número de vagens por planta, número de grãos por planta, produtividade de grãos e massa de cem grãos para a cultura da soja. Sendo aplicado o teste de comparação de múltiplas médias dos sistemas para cada fonte de variação estudada, através do teste Tukey, o que evidenciou a existência de variabilidade entre os sistemas avaliados.

Tabela 2. Análise de variância das características: número de vagens por plantas (NVP), número de grãos por plantas (NGP), número de grãos por vagem (GV), massa de cem grãos (M100), altura das plantas (ALT) e produtividade de grãos (PROD), em diferentes sistemas de cultivo de soja.

FV	GL	QM					
		NVP	NGP	GV	M100	PROD	ALT
Blocos	4	59,97	489,27	0,002	1,39	74928,72	79,13
Sistemas	2	1460,80*	9544,39*	0,023 ^{ns}	9,96*	565738,22*	42,88 ^{ns}

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Resíduo	8	138,65	1056,53	0,01	0,93	24364,60	8,96
Total	14						

CV (%)		17,86	19,75	4,42	6,15	3,63	3,71
Média geral		65,93	164,58	2,46	15,74	4295,58	80,70

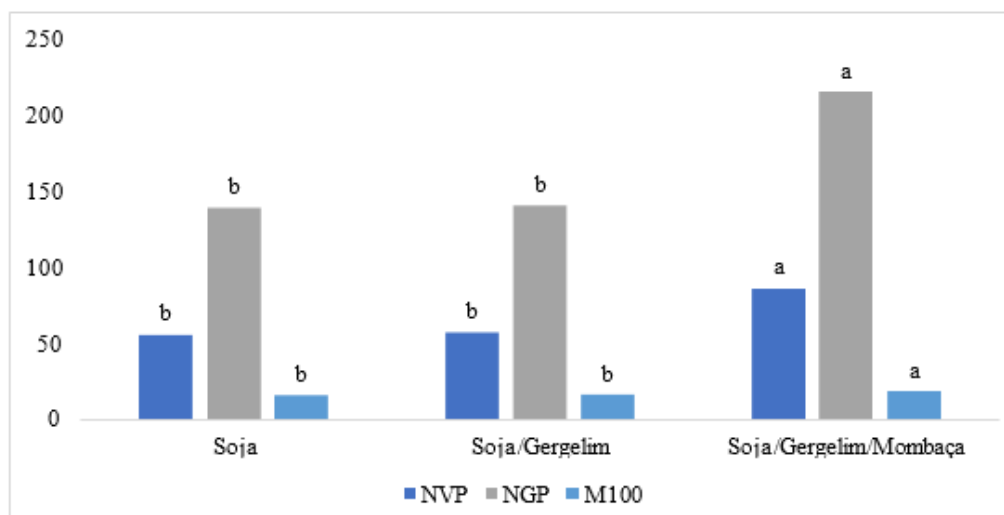
^{ns} não significativo; * significativo para P

≤ 0,05 pelo teste F.

Fonte: Autor (2024)

Comparando as médias das características NVP e NGP, apresentadas na Figura 1, pode-se observar superioridade do sistema Soja/gergelim/Mombaça, sendo que, este sistema apresentou 85,65 vagens e 215,02 grãos por planta, tornando-se o detentor da maior média. Para a característica de massa de cem grãos o sistema Soja/gergelim/mombaça também resultou em maior média quando comparado aos demais.

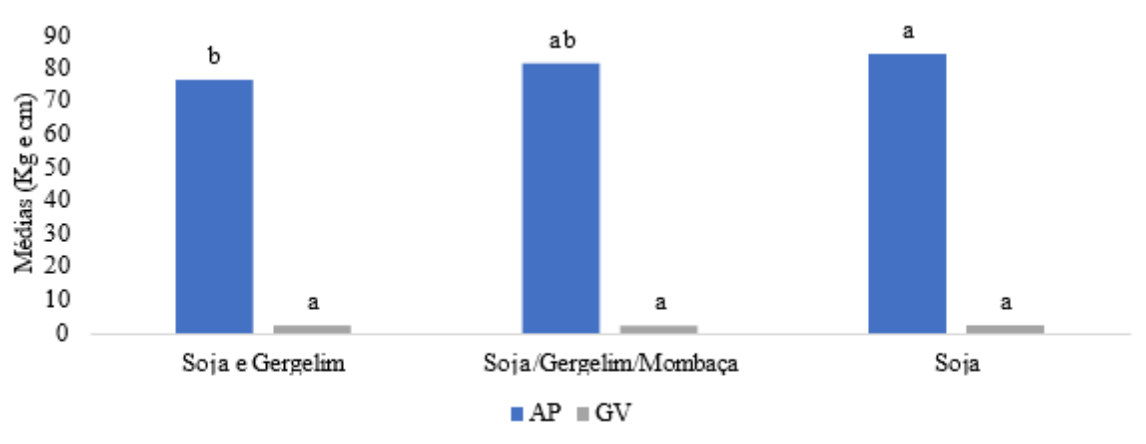
Figura 1. Médias das características número de vagens por planta (NVP), número de grãos por planta (NGP) e massa de cem grãos (M100), em diferentes sistemas envolvendo o cultivo de soja.



Na Figura 2 é possível observar que o sistema de cultivo de soja solteira resultou em maior média para a característica altura de planta, apesar de não diferir do sistema completo com soja, gergelim e

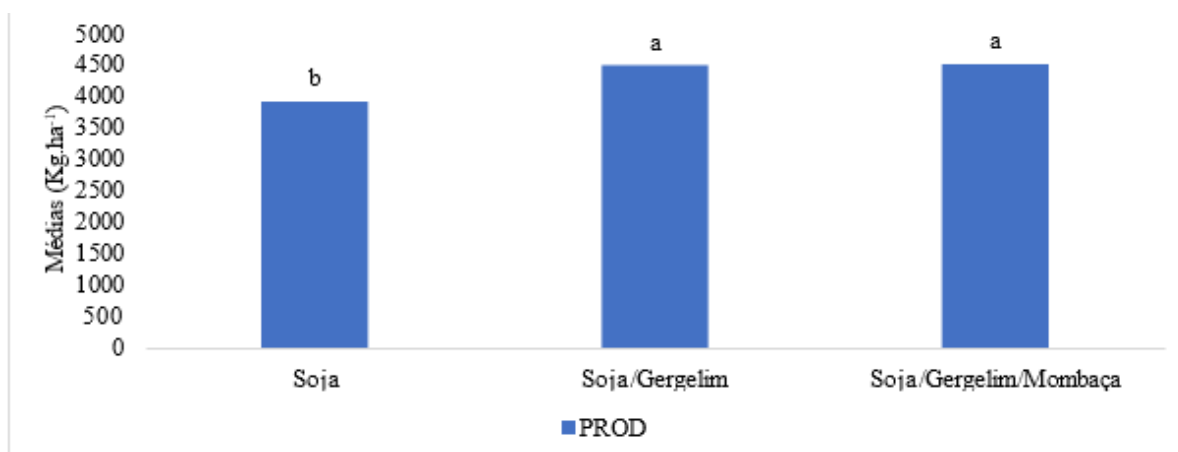
mombaça. Para grãos por vagem, não foi observado diferença entre os sistemas.

Figura 2. Médias das características altura de planta (AP) e número de grãos por vagem (NGV), em diferentes sistemas envolvendo o cultivo de soja.



Para a característica de produtividade de grãos (Figura 3), somente o sistema composto pelo cultivo de Soja solteira obteve média inferior aos demais. O sistema soja, gergelim e mombaça obteve média de 4496,5 Kg.ha⁻¹.

Figura 3. Médias da característica de produtividade de grãos (PROD em kg.ha⁻¹), em diferentes sistemas de cultivo de soja.



HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

De maneira geral, a análise comparativa dos dados de todas as características mensuradas revela a importância de adotar sistemas agrícolas que incorporem práticas de proteção do solo, mitigando os estresses hídricos em que as plantas estão sujeitas, especialmente em anos com influência de fenômenos climáticos adversos e em regiões com incidência significativa de veranicos ao longo do ano. A presença de palhada no sistema mais completo foi eficaz quanto a redução dos estresses causados por esses fatores, uma vez que, além de melhorar a condição física do solo, contribuiu para a retenção da umidade, favorecendo a manutenção de elevados índices de produtividade.

Sistemas envolvendo o cultivo do gergelim

Considerando apenas a cultura do gergelim, nota-se, de acordo com a análise de variância (Tabela 3), que não houve diferença entre os sistemas avaliados para a característica produtividade de grãos.

Tabela 3. Análise de variância para produtividade de grãos (PROD), em diferentes sistemas de cultivo de gergelim.

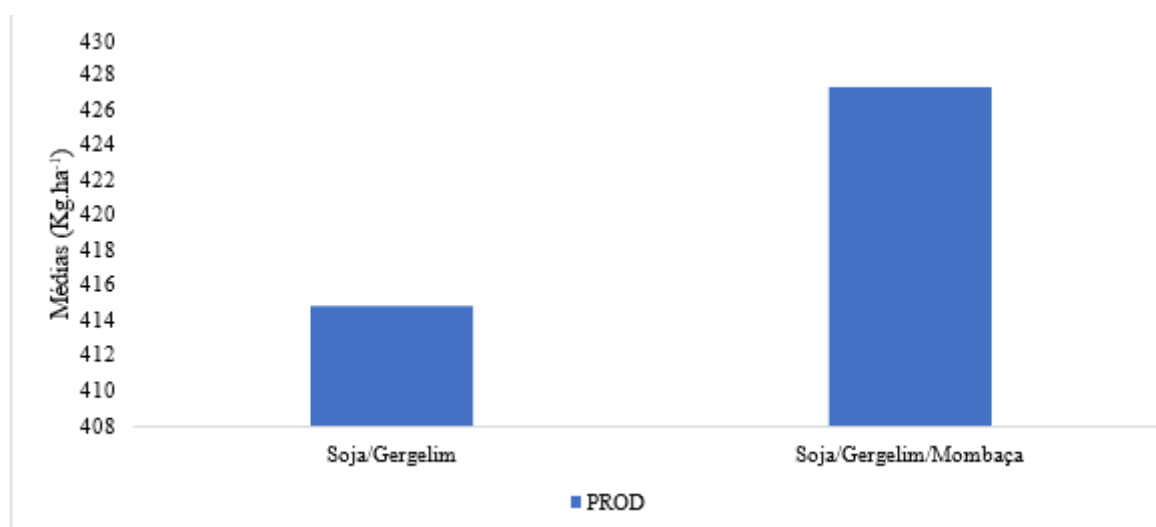
FV	GL	QM
PROD		
Blocos	4	5656,19
Sistemas	1	387,50 ^{ns}
Resíduo	4	2137,19
Total	9	
CV (%)		10,98
Média geral		421,02

^{ns} não significativo; * significativo para $P \leq 0,05$ pelo teste F.

Para a característica produtividade de grãos (Figura 4), o sistema composto por soja e gergelim obteve média de 414,8 kg.ha⁻¹, já o

sistema soja, gergelim e capim mombaça apresentou média de 427, 25 kg.ha⁻¹.

Figura 4. Produtividade de grãos para os sistemas envolvendo o cultivo de gergelim.



Dentre os sistemas avaliados, aquele que incluiu a rotação de culturas com soja na safra, gergelim na safrinha, e capim mombaça na entressafra, demonstrou ser o mais completo, não apenas promovendo maior produtividade da soja, mas também possibilitando a produção adicional de gergelim na safrinha, o que incrementa a lucratividade do agricultor. Através da produtividade dos sistemas apresentados, é possível notar os benefícios do uso da cultura do gergelim, pois, além de apresentar boa resistência à seca, possui um ciclo rápido e baixo custo de produção, tornando-se uma opção para a diversificação dos cultivos já praticados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema Soja/Gergelim/Mombaça destacou-se compondo sempre o grupo estatístico de maior média para todas as características avaliadas envolvendo a cultura da soja, além de promover uso mais eficiente da área agrícola e, conseqüentemente, maior rentabilidade no cultivo de soja.

REFERÊNCIAS

CHIODEROLI, C. A.; SILVA, R. P. D., NORONHA, R. H. D. F.; CASSIA, M. T.; SANTOS, E. P. D. "Perdas de grãos e distribuição de palha na colheita mecanizada de soja" *Bragantia* V. 71, p. 112- 121, 2012.

CONAB, Brasil: **Series históricas de áreas plantadas: 1976/77 a 2022/23.** Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-das-safras/itemlist/category/911-soja> Acesso em: 1 de Dezembro 2023.

CRUSCIOL, C. A. C.; ARF, O., SORATTO, R. P.; MACHADO, J. R. Influência de lâminas de água e adubação mineral na nutrição e produtividade de arroz de terra-altas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27 p. 647-654, 2003a.

CRUSCIOL, C., ARF, O.; SORATTO, R.; RODRIGUES, R.; MACHADO, J. Produtividade do arroz de terras altas em função de lâminas de água e da adubação mineral. *Científica*, v. 31, p. 189- 200, 2003b.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 4. ed. Brasília, DF, Brasil: Embrapa (In Portuguese), 2014.

HORVAT, R.; WATANABE, M.; YAMAGUCHI, C.K. Fertilizer consumption in the region MATOPIBA and their reflections on Brazilian soybean production. *International Journal of Agriculture and Forestry*, v. 5, n. 1, p. 52-59, 2015.

KÖEPPEN, W. Climatología: Con un estudio de los climas de la Tierra. *Fondo de Cultura Económica*, p. 479p, 1948.

LEMAIRE, G.; FRANZLUEBBERS, A.; DE FACCIO CARVALHO, P. C.; DEDIEU, B. Integrated crop-livestock systems: Strategies to achieve synergy between agricultural production and environmental quality. "Agriculture, Ecosystems and Environment", v. 190, p. 4-8, 2014.

SANTOS, G. G.; SILVEIRA, P. M. D.; MARCHÃO, R. L.; BECQUER, T.; BALBINO, L. C. Macrofauna edáfica associada a plantas de cobertura em plantio direto em um latossolo vermelho do Cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, n. 1, p. 115-122, 2008.

STONE, L.F. Absorção de P, K, Mg, Ca e S por soja, influenciada pela deficiência hídrica, vermiculita e cultivar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 20, p. 1251-1258, 1985.

STONE, L.F. Deficiência hídrica, vermiculita e cultivares. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 19, p. 695-707, 1984.

FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

Capítulo 15

QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE FEIJÃO-CAUPI PRODUZIDAS NO CERRADO TOCANTINENSE

Luiza Borges Aguiar Coelho
Rodrigo Ribeiro Fidelis

RESUMO

Este estudo avaliou a qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) durante oito meses de armazenamento no Cerrado Tocantinense. O feijão-caupi, amplamente consumido nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, é uma importante fonte de proteína, cálcio e ferro. Contudo, a produtividade nacional é inferior à média mundial devido ao uso limitado de tecnologias, como o melhoramento genético. Foram analisados 10 genótipos, incluindo oito linhagens (FC 302, FC 303, FC 306, FC 401, FC 407, FC 409, FC 1101 e FC 3013) e duas cultivares comerciais (BRS Novaera e Pingo de Ouro). Os testes de qualidade incluíram índice de velocidade de germinação (IVG), germinação e envelhecimento acelerado, com análise estatística via ANOVA e comparação pelo teste de Tukey. Os resultados indicaram maior estabilidade no IVG e na germinação das linhagens FC 407, FC 409 e FC 1101 ao longo do armazenamento. Em contraste, os genótipos FC 302, FC 303 e BRS Novaera demonstraram maior sensibilidade ao estresse, com significativa redução de vigor e capacidade germinativa. Assim, linhagens mais estáveis, como FC 407 e FC 1101, são indicadas para armazenamento prolongado, enquanto genótipos mais sensíveis requerem práticas específicas para manter sua viabilidade. A pesquisa destaca a importância do monitoramento rigoroso durante o armazenamento e a adoção de práticas especializadas para preservar a qualidade das sementes, fator crucial para a produtividade agrícola.

Palavras-chave: Armazenamento; Vigor; *Vigna unguiculata*.

1 Graduanda em Agronomia, Pibic/CNPq, Universidade Federal do Tocantins, luiza.borges@mail.uft.edu.br

2 Doutor em Fitotecnia, Curso de Agronomia, Universidade Federal do Tocantins, fidelisrr@mail.uft.edu.br.

INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma leguminosa de origem africana que foi trazida ao Brasil pelos colonizadores portugueses na metade do século XVI. Também conhecido como feijão-de-corda ou fradinho, esta espécie é cultivada e consumida principalmente nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, trata-se de um alimento rico em proteínas e elevado teor de cálcio, ferro e vitaminas (BARROS e CASTRO, 2022).

A produtividade brasileira no ano de 2021 foi de 491 kg.ha⁻¹ (CONAB, 2023), enquanto a média de produtividade mundial deste mesmo ano foi de 635 kg.ha⁻¹ (FAO, 2023), isso ocorre porque a tecnologia aplicada ainda é incipiente, principalmente no emprego do melhoramento genético de sementes, pois leva-se anos de pesquisa para que uma cultivar com alto potencial produtivo chegue ao mercado.

O melhoramento genético de sementes de feijão-caupi no Brasil é realizado quase que totalmente pela Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, graças a esta instituição, há no mercado diversas cultivares resistentes a doenças, com resistências a pragas e tolerâncias a características edafoclimáticas (FREIRE-FILHO, 2011). Porém, o fato do Brasil ser um país com grande área territorial e heterogeneidade climática dentro de suas regiões, torna mais complexo ainda o desenvolvimento de cultivares adaptadas a particularidades edafoclimáticas de cada Estado do país.

O produto de um programa de melhoramento genético bem estruturado é a semente de alta qualidade (PRAZERES e COELHO, 2016). Dentre os atributos de qualidade, se destacam a pureza física e as qualidades genética, fisiológica e sanitária (FRANÇA-NETO et al., 2016).

A pureza física está ligada à presença de materiais inertes e sementes de outras espécies no lote de sementes, enquanto a qualidade sanitária indica a presença de insetos e microorganismos associados às sementes. O aspecto genético está diretamente ligado ao programa de melhoramento, e está relacionado às propriedades intrínsecas da variedade, ou seja, ciclo, resistência, adequação às condições edafoclimáticas e potencial de produtividade. O atributo fisiológico procura identificar o conjunto de sementes com maior probabilidade de apresentar desempenho eficiente em campo ou durante o armazenamento (SILVA, 2019).

A semente é um insumo de extrema importância na agricultura (MACIEL e TUNES, 2021), é através dela que todas as inovações do laboratório de pesquisa chegam até o campo. Diante desses fatores, evidencia-se a importância da seleção de sementes de boa qualidade dentro de um programa de melhoramento, com isso, este trabalho tem por objetivo avaliar a qualidade fisiológica durante o armazenamento de linhagens de sementes de feijão-caupi produzidas nas condições do Cerrado Tocantinense, em busca da minimização da sensibilidade aos estresses abióticos e ao aumento do potencial produtivo.

MÉTODO E MATERIAIS

O trabalho foi realizado no Laboratório de Fitotecnia da Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade Federal do Tocantins (UFT), no Campus de Gurupi. As sementes utilizadas foram provenientes do Programa de Melhoramento de Feijão-Caupi, conduzido na área experimental da UFT. A pesquisa teve como objetivo avaliar a qualidade fisiológica de 10 genótipos de feijão-caupi, sendo 8 linhagens (FC 302, FC 303, FC 306, FC 401, FC 407, FC 409, FC 1101, FC 3013) e 2 cultivares comerciais (BRS Novaera e Pingo de Ouro), ao longo de 8 meses de armazenamento. Mensalmente, as sementes foram submetidas a seis diferentes testes para avaliação da sua qualidade:

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Determinação do teor de água das sementes

Utilizando o medidor de umidade modelo G600i ajustado para as necessidades da cultura.

Teste de hipoclorito

Avaliação baseada na imersão de 100 sementes de cada linhagem em solução de hipoclorito a 0,5% e posteriormente quantificadas as sementes com tegumento danificado. Resultados expressos em porcentagem.

Peso de mil sementes

Pesando 8 repetições de 100 sementes de cada linhagem, em seguida, a média dos valores foi multiplicada por 10. Resultado expresso em gramas.

Teste de germinação

Para a montagem do teste, foi realizada a esterilização das bancadas, dos materiais e do germinador com álcool 70%, e luvas foram usadas para evitar contaminação. Foram utilizadas 200 sementes de cada linhagem, divididas em 4 repetições de 50 sementes, que foram colocadas em papel Germitest úmido e organizadas em rolos. Esses rolos foram colocados verticalmente em um germinador a $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, com fotoperíodo de 12h/12h e umidade de 99%. Após 8 dias, avaliou-se o percentual de plântulas normais, plântulas anormais, sementes duras e sementes mortas.

Teste de envelhecimento acelerado (Vigor)

Foram utilizadas 200 sementes de cada linhagem, colocadas em caixas Gerbox desinfetadas com hipoclorito 1% e álcool 70%. As

sementes ficaram sobre telas metálicas dentro das caixas com 40 mL de água, sem contato direto com o líquido. As caixas foram tampadas e levadas a uma câmara B.O.D., a $45^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 48 horas. Após esse período, as sementes foram submetidas ao teste de germinação, avaliando-se a porcentagem de plântulas normais e anormais, sementes duras e mortas.

Teste de Germinação em areia (Avaliação de emergência e índice de velocidade de germinação)

Foram utilizadas 200 sementes de cada linhagem, semeadas em bandejas com areia lavada a 3 cm de profundidade, divididas em 2 repetições de 100 sementes. O teste, com duração de 15 dias, contabilizou diariamente as plântulas emergidas e utilizou a fórmula de Maguire para estimar o Índice de Velocidade de Germinação (IVG). As bandejas receberam regas diárias.

Os dados foram analisados via ANOVA e comparados pelo teste de Tukey (5%), utilizando o programa estatístico R-studio. As sementes foram submetidas a tratamento químico com fungicida (Fluazinam e Tiofanato Metílico) e inseticida (Tiametoxam) para evitar danos por patógenos.

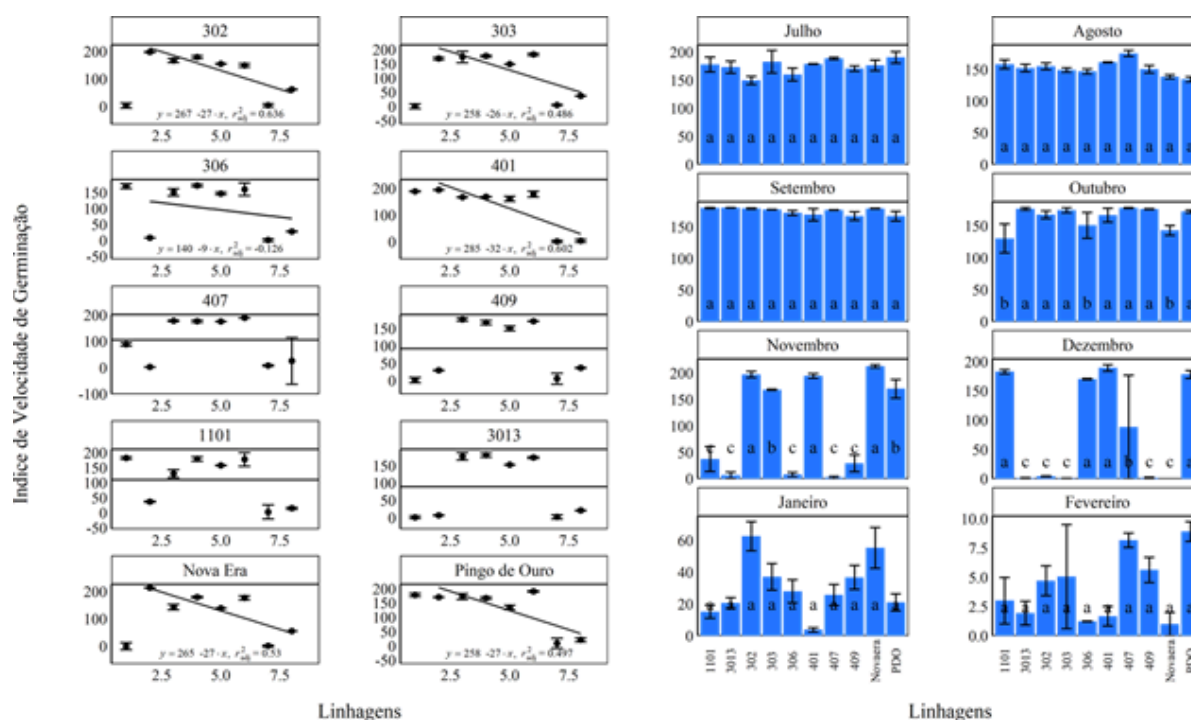
DADOS E DISCUSSÃO

Com base nos resultados dos testes de Índice de Velocidade de Germinação (IVG), Germinação (%) e Envelhecimento Acelerado (%), apresentados nas Figuras 1, 2 e 3, respectivamente, é possível inferir que:

O Índice de Velocidade de Germinação (IVG) é uma medida crítica da qualidade fisiológica das sementes, já que avalia a rapidez com que as sementes germinam e estabelecem plântulas viáveis. A análise dos

dados mostrou variações significativas entre as linhagens ao longo do tempo (Figura 1).

Figura 1. Os gráficos de dispersão à esquerda mostram a relação entre meses e o índice de velocidade de germinação das diferentes linhagens de feijão-caupi, com regressões lineares e R^2 . À direita, os gráficos de barras apresentam a variação desse índice ao longo dos meses, com diferenças estatísticas indicadas por letras distintas ($p < 0,05$).



As linhagens FC 302, FC 303, FC 401 e a cultivar comercial BRS Novaera demonstraram queda expressiva no IVG, sugerindo que essas linhagens são mais suscetíveis ao estresse oxidativo e térmico durante o armazenamento prolongado. Isso pode ser observado nos gráficos apresentados, onde equações de ajuste com coeficientes de determinação (R^2) elevados indicam boa adequação dos modelos, confirmando que o declínio do IVG está associado a um processo natural de deterioração das sementes. O estresse ambiental, sobretudo em regiões de clima quente e seco, como o Cerrado, pode

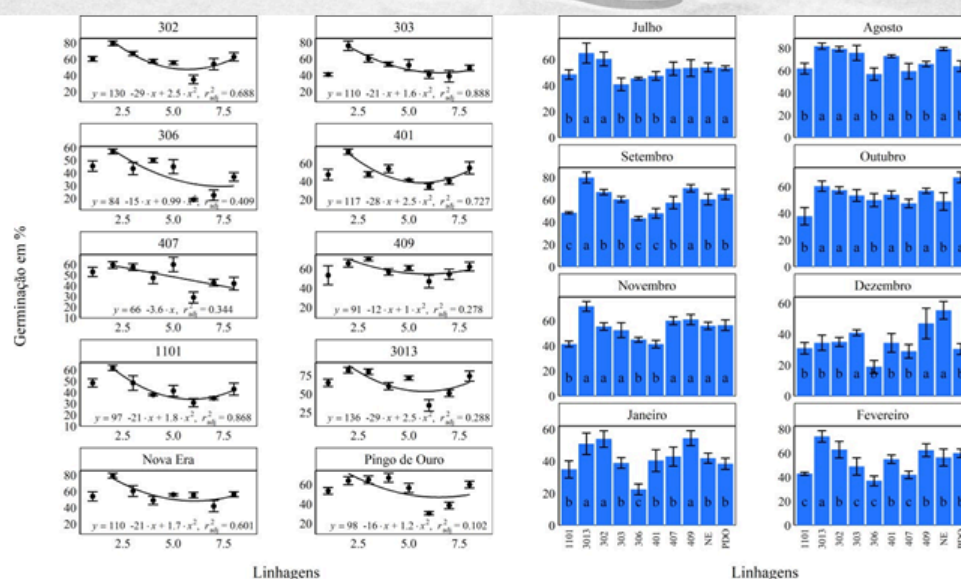
acelerar esse processo de deterioração, resultando em perda de vigor (VIEIRA e CARVALHO, 1994). Por outro lado, linhagens como FC 407 e FC 409 mantiveram-se mais estáveis, o que sugere maior resiliência ao armazenamento. De acordo com Marcos Filho (2015), a estabilidade de linhagens durante o armazenamento pode estar associada a características genéticas, que conferem maior resistência ao estresse oxidativo e preservam a integridade da membrana celular por mais tempo.

Nos meses de novembro e dezembro, o teste de Tukey indicou variações significativas entre os genótipos, evidenciando que o estresse ambiental durante esses meses impactou diferentemente as sementes, intensificando a queda no IVG de algumas linhagens. Essas variações sazonais de temperatura e umidade podem afetar diretamente a viabilidade das sementes, conforme apontado por Santos et al. (2014), que discutem como as condições ambientais adversas durante o armazenamento influenciam na deterioração fisiológica das sementes de feijão-caupi, resultando em menor vigor e germinação.

Os resultados da porcentagem de germinação (Figura 2) refletem as tendências observadas no IVG.

Figura 2. Os gráficos à esquerda apresentam curvas de regressão quadrática da porcentagem de germinação em função do decorrer dos meses de armazenamento, para várias linhagens de feijão-caupi, com as equações e coeficientes de determinação R^2 . Os gráficos de barras à direita mostram a variação mensal da porcentagem de germinação, com diferenças significativas indicadas por letras distintas ($p < 0,05$).

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)



Os genótipos FC 302, FC 303, BRS Novaera e Pingo de Ouro apresentaram declínio na capacidade de germinação ao longo do tempo, especialmente nos meses finais de observação. As curvas de ajuste indicam queda acentuada, corroborando estudos anteriores que apontam a redução da viabilidade das sementes ao longo do armazenamento devido à perda de água e deterioração das membranas celulares (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012). Em contraste, a linhagem FC 1101 manteve performance estável, com taxa de germinação superior a 50% na maioria dos meses analisados, o que sugere maior viabilidade de suas sementes em condições de armazenamento.

Novembro e dezembro mostraram maior variação entre as linhagens, com FC 1101 mantendo estabilidade notável, enquanto FC 303 e Pingo de Ouro exibiram declínio considerável na capacidade de germinação. O teste de envelhecimento acelerado é utilizado para simular condições adversas de armazenamento (Figura 3).

Figura 3. Os gráficos à esquerda apresentam as curvas de regressão quadrática da porcentagem de sementes submetidas ao envelhecimento acelerado em função do decorrer dos meses de armazenamento, para várias linhagens de feijão-caupi, com as

equações e coeficientes de determinação R². Os gráficos de barras à direita mostram a variação mensal da porcentagem de germinação após o envelhecimento acelerado, com diferenças significativas indicadas por letras distintas ($p < 0,05$).

Linhagens como FC 306, FC 407 e FC 3013 demonstraram menor perda de vigor mesmo após o estresse térmico e de umidade, sugerindo resistência maior a esses fatores. Esse comportamento está em concordância com os encontrados de Smaniotto et al. (2014), que relatam que a qualidade fisiológica das sementes armazenadas em diferentes condições está diretamente relacionada à capacidade das sementes de preservar a integridade celular e minimizar os danos causados pela desidratação. Em contraste, os genótipos FC 302, FC 303 e BRS Novaera exibiram maior sensibilidade ao envelhecimento acelerado, com quedas acentuadas nos valores de germinação após o estresse.

A análise mensal também destacou novembro e dezembro como períodos críticos, onde o envelhecimento acelerado mostrou maior variação nos genótipos. Por exemplo, BRS Novaera e Pingo de Ouro apresentaram quedas mais drásticas, indicando menor capacidade de suportar condições adversas.

Os resultados indicam variação significativa na qualidade fisiológica entre os diferentes genótipos de feijão-caupi durante o armazenamento. As linhagens FC 407, FC 409 e FC 1101 demonstraram maior estabilidade em relação ao vigor e à germinação, sendo recomendadas para condições de armazenamento prolongado em climas como o do Cerrado Tocantinense. Já as linhagens FC 302, FC 303 e a cultivar comercial BRS Novaera mostraram-se mais sensíveis ao estresse de armazenamento, requerendo, possivelmente, condições mais controladas ou tratamentos específicos para garantir sua viabilidade em campo.

Essas diferenças estão ligadas às características genéticas de cada linhagem e à sua adaptação às condições ambientais. Sementes mais sensíveis ao envelhecimento, como FC 302 e FC 303, podem necessitar de práticas de manejo especializadas para minimizar a perda de vigor. Testes adicionais, como teor de umidade, peso de mil sementes e dano mecânico, foram realizados, mas não são discutidos neste documento devido à limitação de espaço exigido. No entanto, esses dados podem ser relevantes para discussões futuras e para complementar a análise dos fatores que influenciam a viabilidade das sementes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O armazenamento influenciou significativamente a qualidade fisiológica das sementes de feijão-caupi, com maior queda no Índice de Velocidade de Germinação e na germinação (%) dos genótipos FC 302, FC 303 e BRS Novaera, especialmente em novembro e dezembro. Em contraste, as linhagens FC 407, FC 409 e FC 1101 demonstraram maior estabilidade ao longo do período de armazenamento, revelando-se mais adequadas para armazenamento prolongado. Os genótipos mais sensíveis, por sua vez, necessitam de condições rigorosas de controle e de períodos de armazenamento mais curtos para assegurar sua viabilidade.

REFERÊNCIAS

BARROS, S. C. S.; CASTRO, W. C. P. Qualidade de sementes de feijão-caupi (*vigna unguiculata* (L.) Walp.) produzidas em Paragominas, Pará. Universidade Federal Rural da Amazônia. Trabalho de Conclusão de Curso. 42p. Paragominas, 2022.

CARVALHO, M. L. O; NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: Safra de grãos – Estimativa em maio/2023. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2023.

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Acesso em: 15 set. 2024.

FRANÇA-NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A.; PÁDUA, G. P.; LORINI, I.; HENNING, F. A. Tecnologia da produção de sementes de soja de alta qualidade. Embrapa Soja, 1 ed., Documentos n.380. Londrina, 2016.

FREIRE FILHO, F. R. Feijão-caupi no Brasil – Produção, Melhoramento Genético, Avanços e Desafios. Embrapa Meio-Norte, Teresina-PI, 2011.

MACIEL, L. M.; TUNES, L. V. M. The importance of quality control in corn seeds. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v.7, n.5, p. 49934-49938. Maio de 2021.

MARCOS FILHO, J. Fisiologia de sementes de plantas cultivadas. 2. ed. Londrina: ABRATES, 2015.

PRAZERES, C. S.; COELHO, C. M. M. Heterose para qualidade fisiológica de sementes na obtenção de híbridos de milho. Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v.15, n.1, p. 124-133, 2016.

SANTOS, L. R. A.; TORRES, S. B.; FREIRE, M. B. G. dos S.; QUEIROGA, V. P.; CARVALHO, F. L. C. Qualidade fisiológica de sementes de feijão-caupi durante o armazenamento. Revista Ciência Agronômica, v. 45, n. 4, p. 742-751, 2014.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

SILVA, F. H. A.; ARAÚJO, L. B. S.; PEREIRA, S. L. S.; FERREIRA, M. de H. C.; OLIVEIRA, I. F. Atributos físicos e fisiológicos de sementes salvas de feijão-caupi utilizadas no semiárido brasileiro. Revista Caatinga, Mossoró, v. 32, n. 1, p. 113-120, 2019.

SMANIOTTO, T. A. de S.; HENNING, F. A.; LORINI, I.; HENNING, A. A.; KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANÇA-NETO, J. B. Qualidade fisiológica das sementes de soja armazenadas em diferentes condições. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 18, p. 446-453, 2014.

VIEIRA, R. D.; CARVALHO, N. M. Testes de vigor em sementes. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1994.

FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

Capítulo 16

ESPECTRÔMETRO NIR PORTÁTIL PARA AVALIAÇÃO E DISCRIMINAÇÃO DO CARVÃO VEGETAL DE ESPÉCIES NATIVAS DA AMAZÔNIA E DO CERRADO

Luan dos Santos Farias ¹

Lívia Cássia Viana ²

RESUMO

A espectroscopia no infravermelho próximo tem sido uma ferramenta com potencial para a descrição rápida e confiável da origem e das propriedades do carvão vegetal. Diante da escassez de pesquisas com a técnica NIRS para espécies nativas do Brasil, este trabalho tem como objetivo utilizar a espectroscopia no infravermelho próximo e modelos PLS para calibração das propriedades energéticas do carvão vegetal. Foram produzidos corpos de prova com dimensões aproximadas de 2.0 x 2.0 x 5.0 cm a partir de resíduos de quatro espécies madeireiras *Buchenavia tetraphylla* (Mirindiba), *Hymenolobium* sp. (Angelim), *Hymenaea courbaril* (Jatobá) e *Cedrela fissilis* (Cedro). Os corpos de prova foram utilizados para a retirada dos espectros NIR e posteriormente destinados à produção de carvão vegetal. Os teores de materiais voláteis, carbono fixo e poder calorífico superior foram determinados para cada espécie e posteriormente correlacionados com os espectros adquiridos na faixa do infravermelho próximo. Os espectros foram adquiridos utilizando um espectrômetro NIR portátil na faixa de 11.111 a 5.882 cm⁻¹, adquiridos a partir das faces transversal e longitudinal da madeira. Os resultados mostraram que a técnica NIRS, em conjunto com as técnicas de análise multivariadas, mostrou-se eficiente para calibrar as propriedades energéticas do carvão vegetal para as espécies avaliadas. As calibrações para a predição dos teores de materiais voláteis, carbono fixo e poder calorífico superior, resultaram em modelos com coeficientes de correlação na validação cruzada (R²_{cv}) iguais a 0.92; 0.94 e 0.96, respectivamente.

Palavras-chave: Espectroscopia; modelos PLS; carbono fixo.

¹ Graduando em Engenharia Florestal, Pibic/FAPT, Universidade Federal do Tocantins, Farias.luan@mail.uft.edu.br.

² Engenheira Florestal, Professora do magistério superior, Universidade Federal do Tocantins, livia.viana@uft.edu.br. (Doutora em Ciências Florestais, Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Tocantins)

INTRODUÇÃO

Avaliado como um dos materiais mais essenciais em processos produtivos, os produtos madeireiros e seus derivados são empregados em diversos setores ao redor do mundo. No entanto, é importante avaliar suas estruturas e propriedades, pois isso contribui significativamente para um melhor aproveitamento dessa importante matéria-prima (BENITES et al., 2015).

As extensas florestas nativas, cobrindo aproximadamente 497,9 milhões de hectares (FAO, 2020), desempenham um papel crucial como fonte de energia no cenário brasileiro. Particularmente, o carvão vegetal, importante subproduto da madeira, é uma fonte energética significativa, sendo fundamental para a economia nacional, especialmente no setor siderúrgico.

A obtenção do carvão vegetal ocorre por meio de uma técnica conhecida como pirólise, na qual a qualidade e as propriedades do carvão são fortemente influenciadas pelo tipo de madeira utilizada, variando de acordo com o destino, que pode ser industrial, doméstico ou comercial.

O setor de árvores plantadas têm participação elevada em 94% da produção de carvão vegetal. A produção com base na madeira nativa tem apresentado crescente redução a cada ano, que pode ser atribuída a crescente preocupação ambiental, a mudança na legislação e o aumento da fiscalização. No entanto ainda é preocupante a pressão sobre as florestas nativas e o avanço do desmatamento ilegal de florestas que por sua vez causam grandes impactos ambientais (GONÇALVES et al., 2012).

A introdução de novas tecnologias e ferramentas para a descrição rápida e confiável da origem e propriedades do carvão vegetal tem

sido avaliada em algumas pesquisas (GOMES et al., 2024). Entre essas práticas, a espectroscopia no infravermelho próximo (*Near Infrared Spectroscopy* - NIRS) tem se destacado como uma ferramenta eficaz no controle de qualidade de produtos e processos industriais fornecendo resultados rápidos exigindo pouco preparo dos materiais amostrados (MUÑIZ et al., 2012; PACE et al., 2019).

Descoberta em 1800, por Frederick William Herschel, a espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS) surgiu como uma técnica de análise não invasiva para materiais orgânicos, sendo frequentemente utilizada do controle de qualidade e no monitoramento de processos em diversas áreas, tais como a base florestal (BAILLÈRES et al., 2002).

Por meio da utilização da espectroscopia NIR é possível extrair informações qualitativas e quantitativas da madeira e seus derivados, de maneira rápida, não destrutiva e eficaz, utilizando técnicas de análise multivariada, como as análises de componentes principais (PCA) e regressão dos mínimos quadrados parciais (PLS). Tais análises mostram tendências nos dados espectrais, permitindo a identificação de características particulares, onde, no contexto do carvão vegetal, além de outras características importantes, essas assinaturas podem auxiliar na diferenciação de espécies de madeira e determinação dos teores de carbono fixo, materiais voláteis, entre outras propriedades (RAMALHO et al., 2017).

Diante da escassez de pesquisas com a técnica NIRS para espécies nativas do Brasil, este trabalho tem como objetivo utilizar a espectroscopia no infravermelho próximo e modelos PLS para calibração das propriedades energéticas do carvão vegetal.

MÉTODO E MATERIAIS

Material

As amostras utilizadas neste trabalho foram selecionadas a partir de resíduos de quatro espécies madeireiras encontradas em uma marcenaria na cidade: *Buchenavia tetraphylla* (Mirindiba), *Hymenolobium* sp. (Angelim), *Hymenaea courbaril* (Jatobá) e *Cedrela fissilis* (Cedro).

Foram produzidos 10 corpos de prova de cada espécie, totalizando 40 corpos de prova, com dimensões aproximadas de 2.0 x 2.0 x 5.0 cm (largura x espessura x comprimento). Os corpos de prova foram utilizados para a retirada dos espectros NIR e posteriormente destinados à produção de carvão vegetal.

Carvão vegetal

O carvão vegetal foi produzido a partir da pirólise da madeira no forno tipo Mufla com controle da temperatura e adaptado para recuperação do licor pirolenhoso (Figura 1). Foram produzidos carvão das quatro espécies selecionadas. A temperatura final de carbonização foi de 550 °C.

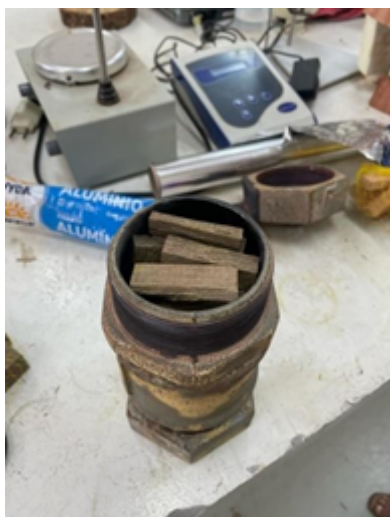


Figura 1 - Produção de Carvão Vegetal

Fonte: Autor (2024)

Análise química imediata (AQI)

A análise química imediata foi realizada de acordo com as normas ASTM D1762-84 (American Society for Testing and Materials, 2007) e ABNT NBR 8112 (Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1983). Para determinar os percentuais de materiais voláteis e teor de carbono fixo o carvão vegetal oriundo das quatro espécies foi moído e peneirado em peneiras com malha entre 40 e 60 mesh, pesado e encaminhado para secar em estufa a $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, por 30 min.

O Poder calorífico superior do carvão vegetal foi calculado conforme a metodologia proposta por Vale et al. (2002), utilizando a equação 1.

$$\text{PCS} = 4.934,43 + (33,27 \cdot \text{CF}) \quad (1)$$

Em que:

PCS = poder calorífico superior (kcal kg⁻¹)

CF = teor de carbono fixo (%)

Espectroscopia no infravermelho próximo

Os espectros da faixa do infravermelho próximo foram adquiridos utilizando o Espectrômetro Portátil DLP® NIRscanTM (Figura 2). A aquisição espectral foi realizada na faixa de radiação do micro NIR, compreendida entre a faixa de 11.111 a 5.882 cm^{-1} , com resolução espectral de 4 cm^{-1} e média de 32 scans de varredura. Os espectros foram adquiridos a partir das faces transversal e longitudinal da madeira. Após a carbonização também foram coletados espectros do carvão de cada espécie.



Figura 2 - Espectrômetro Portátil DLP® NIRscanTM

Fonte: Autor (2024)

Os espectros foram tratados matematicamente pela primeira e segunda derivada de “*Savitzky- Golay*” (1964). Para identificar outliers utilizou-se a variância residual das amostras individuais. Os espectros de absorbância adquiridos foram posteriormente correlacionados com os valores encontrados nos ensaios pelos métodos tradicionais para as propriedades energéticas do carvão vegetal: materiais voláteis, carbono fixo e poder calorífico superior ao carvão.

Os modelos foram calibrados e validados utilizando a regressão dos mínimos quadrados parciais (PLS – *Partial Least Squares Regression*) por meio do programa de estatística multivariada *The Unscrambler® X* versão 10.4. Para a validação dos modelos foi adotado o método de validação cruzada completa (*full cross-validation*) com um máximo de sete fatores PLS, adotando para cada modelo o número de fatores que minimizou a variância residual da calibração e da validação cruzada (SILVA, 2017; RIBEIRO, 2017; SILVA et al., 2014).

Para seleção dos modelos foram adotados os seguintes parâmetros: coeficiente de correlação do modelo na validação cruzada (R^2_{cv}); erro padrão da validação cruzada (SECV); número de fatores PLS utilizados na calibração (Fat.).

DADOS E DISCUSSÃO

Propriedades Energéticas do Carvão

A Figura 3 apresenta as imagens do carvão produzido a partir das espécies de madeira *Buchenavia tetraphylla* (Mirindiba) e *Hymenolobium sp.* (Angelim).

Após as carbonizações, foram determinados os teores materiais voláteis (MV), teor de carbono fixo (CF), e poder calorífico superior do carvão (PCS).



Figura 3 - Carvão vegetal produzido
Fonte: Autor (2024)

Na Tabela 1, são apresentadas as médias das propriedades energéticas do carvão oriundo das madeiras de *Buchenavia tetraphylla*, *Hymenolobium sp.*, *Hymenaea courbaril* e *Cedrela fissilis*.

Tabela 1 Valores médios e coeficiente de variação das propriedades energéticas do carvão de *Buchenavia tetraphylla*, *Hymenolobium sp.*, *Hymenaea courbaril* e *Cedrela fissilis*.

Propriedades	Espécies			
	<i>C. fissilis</i>	<i>Hymenolobium sp.</i>	<i>B. tetraphylla</i>	<i>H. courbaril</i>
MV (%)	30,03 (0,99)	38,42 (0,65)	41,88 (0,85)	39,72 (1,80)
CZ (%)	1,62 (1,16)	1,29 (9,02)	0,54 (6,22)	3,64 (0,08)
CF (%)	68,05 (0,41)	60,29 (0,22)	57,58 (0,67)	56,63 (1,26)
PCS (kcal/kg)	6877,95 (0,18)	6524,32 (0,03)	6425,61 (0,31)	6259,36 (0,54)

NOTA: MV: Materiais Voláteis; CF: Carbono Fixo; CZ: Cinzas; PCS: Poder calorífico Superior (kcal/kg). () representa o coeficiente de variação (%) de cada propriedade.

De acordo com JUVILLAR (1980), o carvão vegetal possui, em média, uma composição química que consiste em 5% de cinzas, 25% de materiais voláteis e 70% de carbono fixo.

Observando os dados, nota-se que a espécie *Buchenavia tetraphylla* e *Hymenaea courbaril* apresentam os maiores valores de materiais voláteis, com 41,88% e 39,72%, respectivamente. Isso pode ser atribuído à sua composição celular e à presença de resinas e óleos que são mais abundantes nessas espécies. Segundo OLIVEIRA et al. (2012), no contexto doméstico, elevados teores de materiais voláteis estão vinculados à geração de fumaça, baixa eficiência energética e maior consumo de carvão vegetal.

Para o teor de cinzas, o carvão de *Hymenaea courbaril* apresentou a maior porcentagem de cinzas, com 3,64%. Dessa forma, Vale et al. (2011) ressalta que teores de cinzas superiores a 7% são considerados elevados, o que não foi analisado no carvão vegetal das espécies estudadas.

Verifica-se ainda que a espécie *Cedrela fissilis* possui o maior percentual de carbono fixo (68,05%), enquanto o *Hymenaea courbaril* possui o menor percentual (56,63%). Comparativamente falando, combustíveis com maior teor de carbono fixo tendem a queimar mais lentamente, resultando em um tempo de permanência maior do que aqueles com menor teor de carbono fixo (BRITO; BARRICHELO, 1982).

Outra característica que avalia a eficiência energética de diferentes tipos de madeira e outros combustíveis é o poder calorífico superior (PCS), que tem uma direção direta à sua composição química elementar (HUANG et al., 2009; BRAND, 2010; PROTÁSIO et al., 2011a) e além disso, está relacionado ao percentual de carbono fixo presente no material (VALE et al., 2001; PROTÁSIO et al., 2011b). No caso das

espécies analisadas, o carvão de *Cedrela fissilis* tem o maior poder calorífico, com 6877,95 kcal/kg.

BRAND et al. (2013) realizou um estudo sobre a espécie nativa da Mata Atlântica, *Miconia cinnamomifolia*, onde encontrou valor médio de materiais voláteis de 30,5%, além disso, quanto ao poder calorífico superior do carvão, os resultados foram comparáveis aos apresentados por OLIVEIRA et al. (2006), que encontraram valores entre 5.814 e 7.049 kcal.kg⁻¹.

Espectroscopia no infravermelho próximo (NIRS)

Na Figura 4, são apresentados os espectros no NIR, tanto sem tratamento espectral quanto após os pré-tratamentos (primeira e segunda derivada), coletados na face transversal das madeiras de *Buchenavia tetraphylla*, *Hymenolobium sp.*, *Hymenaea courbaril* e *Cedrela fissilis*.

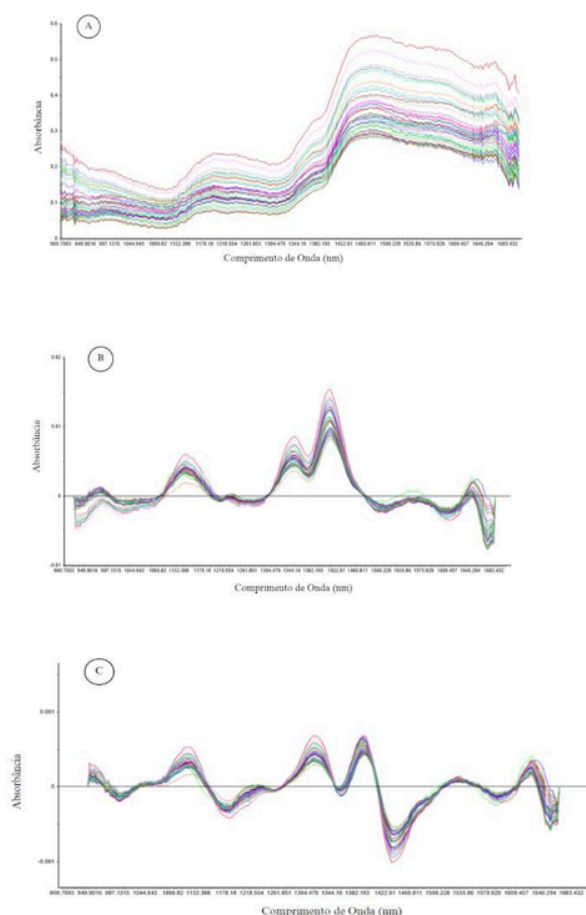


Figura 4 - Espectros NIR referentes a madeira das espécies: *Buchenavia tetraphylla*, *Hymenolobium sp.*, *Hymenaea courbaril* e *Cedrela fissilis*, na face transversal sem tratamento (A), pré tratados com a primeira derivada (B) e segunda derivada (C).

Fonte: Autor (2024)

Na Figura 4, pode-se notar que, após a aplicação dos pré-tratamentos, os picos nos comprimentos de onda tornam-se mais compreensíveis, permitindo uma caracterização mais precisa dos componentes presentes na composição dessas espécies.

A face transversal da madeira permite maior penetração da radiação devido à sua estrutura celular, facilitando a interação da luz com componentes químicos como lignina, celulose e hemicelulose, resultando em maiores valores de absorbância. Em contraste, a face longitudinal, com células mais longas e alinhadas, dificulta essa penetração, levando a valores de absorbância menores, como pode ser observado na Figura (5).

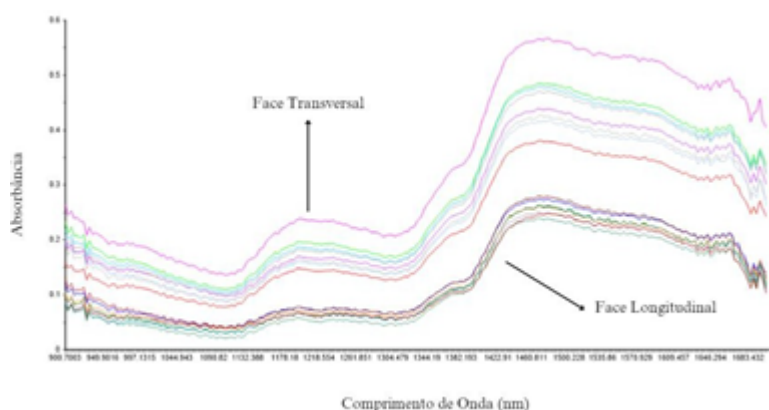


Figura 5 - Espectros sem tratamento nas faces transversal e longitudinal

Fonte: Autor (2024)

Na Tabela 2 foram apresentados o resumo dos melhores modelos de calibração PLS para estimar os teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF) e poder calorífico superior (PCS) do carvão vegetal das espécies estudadas. Para geração dos modelos, os espectros de absorbância adquiridos das amostras de madeira foram correlacionados com os valores encontrados nos ensaios realizados no laboratório pela metodologia convencional e então obtidos os modelos de predição das características do carvão.

Para as todas as características apresentadas foram utilizados modelos gerados a partir dos espectros nas faces longitudinais, com

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

sete fatores PLS e nenhuma amostra foi considerada *outlier*. Os espectros foram tratados matematicamente com a primeira e segunda derivada. O número de fatores PLS adotado na calibração de cada modelo é aquele que reduz a variância residual da calibração e da validação cruzada.

Propriedade	Pré-tratamento	R2c	R2cv	SEC	SECV
	nenhum	0.98	0.77	0.4710	2.3820
Materiais Voláteis (%)	1ª derivada	0.98	0.92	0.4960	1.4053
	2ª derivada	0.98	0.88	0.2203	1.6665
	nenhum	0.98	0.66	0.5443	3.0234
Carbono Fixo (%)	1ª derivada	0.98	0.90	0.5104	1.5481
	2ª derivada	0.99	0.94	0.4665	1.2647
Poder Calorífico Superior (kcal/kg)	nenhum	0.94	0.62	54.3073	160.9137
	1ª derivada	0.98	0.91	11.3863	74.0103
	2ª derivada	0.99	0.96	20.1856	49.7084

Nota: R2c = Coeficiente de determinação na calibração; R2cv = coeficiente de determinação na validação cruzada; SEC= erro padrão de calibração (MV e CF = % e PCS = kcal/kg) e SECV= erro padrão na validação cruzada (MV e CF = % e PCS = kcal/kg)

O resumo dos modelos de calibração para a predição do teor de materiais voláteis apresentaram coeficientes de correlação na validação cruzada (R2cv) que variaram de 0,77 a 0,92. Foi possível observar que o pré tratamento da primeira e segunda derivada aumentou os valores dos coeficientes de correlação na validação cruzada (0.92 e 0.88, respectivamente) e diminuiu o erro padrão na validação cruzada.

Para a estimativa do teor carbono fixo do carvão, os valores de R2cv obtidos foram de 0.66; 0.90 e 0.94 a partir dos espectros sem tratamento espectral e com a aplicação da primeira e segunda derivada,

respectivamente. Na calibração do poder calorífico superior do carvão vegetal foram encontrados valores entre 0,62 a 0,96 para R^2_{cv} e valores de SECV entre 49.7084 a 160.9173 Kcal/Kg.

É possível observar que houve um aumento nos valores dos coeficientes de determinação dos modelos para todas as propriedades energéticas, com a utilização do tratamento matemático da primeira e segunda derivada de “*Savitzky-Golay*”, assim como uma redução no erro padrão na validação cruzada (SECV). Conforme relatado em outros trabalhos, o tratamento da primeira e segunda derivada sobre os espectros têm mostrado maiores valores de coeficientes de correlação e melhores ajustes de predição (GOMES et al., 2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados desse trabalho mostraram que a técnica NIRS utilizando um espectrômetro NIR portátil, em conjunto com as técnicas de análise multivariadas, mostrou-se eficiente para calibrar os teores de materiais voláteis (MV), carbono fixo (CF) e poder calorífico superior (PCS) do carvão vegetal obtido a partir das espécies *Buchenavia tetraphylla* (Mirindiba), *Hymenolobium* sp. (Angelim), *Hymenaea courbaril* (Jatobá) e *Cedrela fissilis* (Cedro).

As calibrações para a predição dos teores de materiais voláteis e carbono fixo e poder calorífico superior, resultaram em modelos com coeficientes de correlação na validação cruzada (R^2_{cv}) iguais a 0.92; 0.94 e 0.96, respectivamente.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8112: Carvão Vegetal – análise imediata. Rio de Janeiro: ABNT, 1983. 6p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1762-84**: Standard method for chemical analyses of wood charcoal. Philadelphia: ASTM International, 2007. 2p.

ANDRADE, Carlos Rogério et al. Calibrações por meio da técnica da espectroscopia no infravermelho próximo para teor de extrativos totais, de lignina total e holocelulose usando espectros obtidos na madeira sólida Calibrations using the technique of near infrared spectroscopy for. **Ambiência**, v. 7, n. 1, p. 39-49, 2011.

BENÍCIO, Elizabeth Lemos et al. Utilização de resíduo celulósico na composição de briquetes de finos de carvão vegetal. 2011.

BENITES, Patrícia Kerlly Ramalho Martins et al. Caracterização anatômica das fibras de oito espécies florestais do Cerrado de Mato Grosso do Sul para a produção de papel. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 6, n. 2, 2015.

BRAND, Martha Andreia. **Energia de biomassa florestal**. Editora Interciência, 2010.

BRAND, Martha Andreia et al. Análise da qualidade da madeira e do carvão vegetal produzido a partir da espécie *Miconia cinnamomifolia* (De Candolle) Naudin (Jacatirão-açu) na agricultura familiar. **Biguaçu, Santa Catarina. Scientia Forestalis**, v. 41, n. 99, p. 401-410, 2013.

COSTA, Tattiane Gomes et al. Qualidade da madeira de cinco espécies de ocorrência no cerrado para produção de carvão vegetal. **Cerne**, v. 20, p. 37-46, 2014.

DA SILVA, Renata Carvalho et al. Influência da temperatura final de carbonização nas características do carvão vegetal de espécies tropicais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 38, 2018.

DE ASSIS, Máira Reis et al. Qualidade e rendimento do carvão vegetal de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 32, n. 71, p. 291-291, 2012.

FAO. Global Forest Resources Assessment 2020: Main report. Rome. 2020.
GARCIA, D. P. et al. Qualidade do carvão vegetal visando uso doméstico. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, v. 11, n. 1, p. 59-67, 2017.

GOMES, J.N.N., DE MEDEIROS, D.T., COLARES, C.J.G. et al. Estimation of energy properties of wood from Brazilian Cerrado biome by NIR spectroscopy. *J Indian Acad Wood Sci* (2024).
<https://doi.org/10.1007/s13196-024-00349-y>.

GONÇALVES, T.A.P; SCHEEL-YBERT, R. Contra o carvão ilegal: estudo da anatomia da madeira pode ajudar a salvar florestas nativas. *Ciência Hoje*, v. 242, p.74-76, 2012.

HUANG, C. et al. Ultimate analysis and heating value prediction of straw by near infrared spectroscopy. *Waste Management*, v. 29, n. 6, p. 1793-1797, 2009.

JUVILLAR, Joaquim Burrel. Tecnologia de transformação da madeira em carvão. *Belo Horizonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC-Série de Publicações Técnicas/SPT- 1980*, 1980.

LOPES, Merielen de Carvalho. Espectroscopia no infravermelho próximo aplicada na avaliação de painéis de madeira colados lateralmente. 2013.

MUÑIZ, G.I.B. de; MAGALHÃES, W.L.E.; CARNEIRO, M.E.; VIANA, L.C. Fundamentos e estado da arte da espectroscopia no infravermelho próximo no setor de base florestal. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v.22, n.4, p.865-875, out.- dez., 2012.

OLIVEIRA, Elisabeth de et al. Estrutura anatômica da madeira e qualidade do carvão de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir. *Revista árvore*, v. 30, p. 311-318, 2006.

PAES, Juarez Benigno et al. Rendimento e caracterização do carvão vegetal de três espécies de ocorrência no semiárido brasileiro. *Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)*, v. 3, n. 1, p. 10.12953/2177-6830.v03n01a01, 2012.

PASQUINI, C. Near infrared spectroscopy: Fundamentals, practical aspects and analytical applications. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v.14, n.2, p.198–219, 2003.

PEREIRA, Bárbara Luísa Corradi et al. Estudo da degradação térmica da madeira de *Eucalyptus* através de termogravimetria e calorimetria. *Revista Árvore*, v. 37, p. 567-576, 2013.

PROTÁSIO, T. P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; GUIMARÃES JÚNIOR, M. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. *Pesquisa Florestal Brasileira*, Colombo, PR, v. 31, n. 66, p. 113- 122, 2011.

RAMALHO, F. M. G; HEIN, P, R, G; ANDRADE, J, M; NAPOLI, A. Potential of Near-Infrared Spectroscopy for Distinguishing Charcoal Produced from Planted and Native Wood for Energy Purpose. *Energy & Fuels*, Washington, v. 31, n. 2, p. 1593–1599, Jan. 2017.

SOBRAL, Carlos Augusto Moraes; GOUVÊA, Adriana de Fátima Gomes; CARVALHO, Ana Márcia Macedo Ladeira. Caracterização anatômica e espectroscópica para identificação de madeiras da família Fabaceae. *Brazilian Journal of Biological Sciences*, v. 9, n. 21, p. 29-48, 2022.

UHLIG, Alexandre; GOLDEMBERG, José; COELHO, Suani Teixeira. O uso de carvão vegetal na indústria siderúrgica brasileira e o impacto sobre as mudanças climáticas. *Revista brasileira de energia*, v. 14, n. 2, p. 67-85, 2008.

VALE, A. T. do et al. Potencial energético da biomassa e carvão vegetal do epicarpo e da torta de pinhão manso (*Jatropha curcas*). *Cerne*, v. 17, p. 267-273, 2011.

VALE, A. T. do et al. Estimativa do Poder Calorífico Superior do Carvão Vegetal de madeiras de *Eucalyptus grandis* em função do Teor de Carbono Fixo e do Teor de Material Volátil. *Brasil Florestal*, v. 36, n. 1, p. 47-52, 2002.

FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Federal do Tocantins.

Capítulo 17

Análise das ocorrências de incêndios florestais nos municípios do Estado do Tocantins

Narah Sámilla Fernandes Santos;
Marcos Giongo;

RESUMO

Nos últimos anos, o estado do Tocantins registrou uma quantidade significativa de focos de incêndio, situando-se entre os estados brasileiros com maior incidência de incêndios florestais. Este fato tem gerado desafios crescentes no que se refere ao manejo e prevenção de queimadas, especialmente em áreas de Cerrado, ecossistemas que se mostram altamente vulneráveis ao fogo. O estudo em questão revelou uma vasta área afetada por incêndios, com maior incidência nas regiões de formação savânica, pastagem, formação florestal e formação campestre, evidenciando uma estreita relação entre os incêndios florestais e as classes predominantes de uso. Em média, cerca de 12,48% da área total queimada no período de 2017 a 2021 testemunhou a ocorrência de incêndios em três ou quatro anos diferentes, destacando uma dinâmica de incêndios recorrentes em determinadas áreas. Essas evidências sublinham a complexidade dos incêndios florestais no Tocantins e a necessidade de abordagens integradas que considerem não apenas os fatores climáticos, mas também as interações entre o uso do solo, áreas rurais majoritariamente afetadas e outras variáveis ambientais. Essas informações são cruciais para orientar políticas públicas e práticas no manejo de incêndios e na conservação do bioma Cerrado.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto; incêndios florestais; cicatrizes de incêndios; queimadas

INTRODUÇÃO

Ações de monitoramento em relação aos incêndios florestais tem crescido nas últimas décadas no Brasil, que busca a prevenção e combate ao desmatamento decorrente de incêndios florestais e queimadas, na maioria das vezes não é autorizada pelos órgãos ambientais. Nesse sentido, o estado do Tocantins tem tido grande ocorrência de incêndios que pode estar relacionado com as condições geográficas, pois integra a região da grande fronteira agrícola nacional, denominada (MATOPIBA), é a junção dos nomes dos Estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e da Bahia.

Dessa forma, os incêndios florestais e as queimadas no Tocantins não autorizadas podem impactar a biodiversidade, afetando os ecossistemas. Segundo Machado (2022), retratam que nos últimos anos, o estado do Tocantins tem registrado uma quantidade significativa de focos de incêndio, posicionando-se entre os estados brasileiros com maior incidência de incêndios. O Tocantins conta com 139 municípios distribuídos em uma área de 277.423,627 km². A maior parte do seu território é composto pelo bioma Cerrado, abrangendo uma extensa área de 252.866,72 km². Além disso, o estado possui um pequeno fragmento de floresta Amazônica, que corresponde a uma área de aproximadamente 24.684,58 km² (IBGE, 2020).

A atividade econômica predominante no Tocantins é a agropecuária, e sua relação com o uso do solo é de extrema importância. Com relação ao contexto da pecuária, a mesma utiliza em sua política a prática de manejo de pastagem aplicando o fogo como meio de manutenção do pasto. Constantemente que essas queimadas são realizadas sem autorização dos Órgãos Fiscais em áreas com vegetação nativa ou plantada com fogo que não seja controlado, sem as condições necessárias para garantir a segurança, caracterizando o

cenário segundo a Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo-PNMIF como índices de Incêndio Florestal (2018).

Vale frisar, que Lei de crimes ambientais, como a Lei 9. 605 /98, mostra que a prática é criminosa por poluir na forma de fumaça, além de causar riscos de incêndio para habitações, destruir a vegetação e poder causar a morte de animais. Sendo que o Art. 41, retrata sobre incêndio em mata ou em floresta, na qual determina uma pena de reclusão de 2 a 4 anos e multa. Todavia, o Código Florestal (Lei 12.651/12) e o Decreto (2.661/1998, autoriza queimada controlada, respeitando os pré-requisitos estabelecidos, bem como ter autorização/aprovação do órgão competente. O órgão competente do Estado que vigência de autorizações ambientais de queima controlada é o Instituto Natureza do Tocantins (Naturatins). Sendo, que com base na (Lei 3.968/2022, institui o "Agosto Cinza" como Mês Estadual de Conscientização do Cidadão no Combate aos Incêndios e Queimadas no âmbito do Estado do Tocantins, e dá outras providências. Portanto, a queimada controlada no Tocantins é apenas quando autorizado pela (Naturatins).

Portanto, é crucial analisar e compreender a influência das práticas agrossilvipastoris, especialmente as que estão relacionadas com a utilização do fogo e que gerem ocorrência de incêndios florestais no Tocantins. Segundo Oliveira et al.(2020), o geoprocessamento aplicado ao mapeamento de risco a incêndios florestais possibilita, por meio de análise sistêmica das características físicas e antrópicas do ambiente, o gerenciamento do território, como mapeamento de áreas mais susceptíveis a incêndios florestais. Patriota et al.(2017) destacam que o Tocantins é um dos estados brasileiros mais afetados por incêndios florestais, onde encontram-se os maiores remanescentes de Cerrado do país, destacando o alto número de incêndios nas propriedades rurais.

O objetivo deste trabalho é avaliar os incêndios florestais em área rural e urbana nos 139 municípios do Tocantins, por meio do processamento de imagens adquiridas pelo sensor OLI do satélite Landsat 8. O período de análise abrange de agosto a outubro. O estudo contemplará o período de 2017 a 2021, com o intuito de fornecer uma análise abrangente ao longo desses anos.

MÉTODO E MATERIAIS

Caracterização da área de estudo

O Tocantins é um dos sete estados da região norte do Brasil e o estado mais novo do país, abrangendo uma área de 277.720,57 km², possuindo em 139 municípios uma população estimada 1511.460 habitantes, sendo o 14º maior no ranking dos 27 estados, com uma densidade demográfica de 5,45 hab./km² e IDH de 0,731 ocupando a 13º colocação no país (IBGE, 2022). Encontra-se localizado entre os paralelos 5º e 13º sul e os meridianos 46º e 51º de longitude oeste, limita-se ao norte com o Maranhão e Pará, ao sul com o estado de Goiás, a leste com o Maranhão, Piauí e Bahia e a oeste com o Mato Grosso e Pará (IBGE, 2022).

Os tipos climáticos de acordo com a classificação climática de Thornthwaite são: B1wA'á' - Clima úmido com moderada deficiência hídrica, representando clima úmido; C2wA'á'' - Clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica e C2w2A'á` - Clima úmido subúmido com pequena deficiência hídrica, representando clima úmido subúmido (Tocantins, 2012). Segundo Viola, al (2014), O Estado do Tocantins encontra-se em uma zona de transição geográfica entre o Cerrado e a Floresta Amazônica, possuindo variações de precipitações, com um período chuvoso de outubro a abril, e um período seco, de maio a setembro.

Para avaliação dos incêndios a partir da delimitação de áreas queimadas, serão utilizadas imagens OLI/Landsat distribuídas espacialmente através do mosaico de cenas que pode ser visualizado abaixo.

Procedimentos

Inicialmente, serão realizados levantamentos de todas as informações de sensores orbitais disponíveis e de distribuição gratuita ou já adquiridas através de outros projetos ou acordos de cooperação. As informações serão tabuladas de forma a identificar, disponibilidade histórica de imagens (meses e anos), cobertura de nuvens, resolução radiométrica, resolução espectral, resolução temporal, resolução espacial, bem como outras informações. Diversos estudos demonstram que os dados de satélite desempenham papel importante no fornecimento de informações, em uma variedade de escalas espaciais e temporais, para melhor compreensão dos fenômenos e suas interações que ocorrem na atmosfera e na superfície terrestre.

A primeira fase, tem como objetivo geral a estruturação de uma base de dados georreferenciada sobre as ocorrências das queimadas e incêndios florestais nos municípios do Estado do Tocantins, que servirá para as demais fases do projeto. A base de dados a ser desenvolvida, além de sua extrema importância no desenvolvimento do projeto de pesquisa proposto. Para a delimitação das áreas queimadas serão utilizadas imagens dos satélites Landsat 8, no período compreendido entre os anos de 2017 a 2021. Após a obtenção das imagens, serão aplicados os ajustes espaciais (georreferenciamento) e delimitação das cicatrizes de incêndios florestais. Para a delimitação de áreas queimadas serão utilizadas duas composições de banda tipo RGB, estas composições serão montadas com o auxílio do software ENVI com as ordens: 6(R)5(G)4(B) e 7(R)6(G)3(B).

Delimitação visual das áreas queimadas

Após análise das composições RGB, as cicatrizes serão delimitadas de forma manual com o auxílio das ferramentas de confecção de polígonos em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), a transformação das áreas queimadas em polígonos possibilitará a realização das análises posteriores.

Avaliação das áreas queimadas

Após a delimitação das áreas queimadas é possível quantificar a extensão dos incêndios florestais e queimadas com a utilização de um SIG e posteriormente estabelecer relação com outros objetivos deste estudo. A correlação entre a ocorrência de incêndios florestais e queimadas com as classes de uso dos solos será estabelecida com o cruzamento das cicatrizes e dos arquivos vetoriais dos limites dos biomas (IBGE), e das classes de uso do solo (SEPLAN, EMBRAPA e MapBiomas). A fim de analisar a associação da ocorrência dos incêndios florestais e queimadas com as condições climáticas do período, serão realizados cruzamento de dados meteorológicos (temperatura, umidade do ar e precipitação) com as cicatrizes. As cicatrizes das áreas queimadas serão avaliadas a nível de zonas rurais e urbanas com base no cruzamento das informações vetoriais desenvolvidas no projeto.

DADOS E DISCUSSÃO

Tocantins e Biomas

Com base na avaliação das áreas queimadas entre 2017 e 2021, verificou-se que o estado do Tocantins teve, em média, 12,48% de sua área total por hectares (ha) queimada (ao ano), correspondendo a 3.465.182 hectares. Observa-se variação de área queimada total por

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

(ha) entre os anos. Vale destacar que em 2017 a área total do estado (ha) queimada foi de 17,4%, correspondendo ao maior valor entre os anos analisados. Sendo a área queimada total (ha) de 2018 representado o menor valor entre eles, totalizando apenas 7,7%.

Levando em consideração os dados em relação total no bioma observa-se variações de área total (ha) nessas características respectivamente em 2017 (24,4%), 2018 (9,5%), 2019 (15,5%), 2020 (16,3%) e 2021 (14,5%). Nesse sentido, a variação encontrada entre os biomas pode estar relacionada com fato de o Cerrado possuir uma área agrícola maior quando comparada com a Floresta Amazônica no Estado. A Amazônia Legal no Estado Tocantins equivale a apenas 5,4% do território total. (TOCANTINS, 2008). Essa quantidade superior de queimadas no Cerrado pode ser devido à expansão agropecuária no Estado, que se encontra na fronteira agrícola nacional, denominada MATOPIBA. Além disso, o Cerrado é mais propenso à presença de queimadas quando comparada a Amazônia, devido a uma combinação de fatores ecológicos, climáticos e presença humana. Essa área queimada foi distribuída predominantemente no bioma Cerrado, que apresentou em média 13,46% de sua extensão afetada pelo fogo durante o período em questão.

Tabela 1 – Extensão de área queimada no estado do Tocantins no período de 2017 a 2021.

Área queimada (ha)						
Total no Estado			Total no bioma			
Ano	Área queimada	(%)	Cerrado	(%)	Amazônia	(%)
2017	4.843.981,34	17,45	4.704.906,91	18,60	139.074,43	5,64
2018	2.135.288,34	7,69	2.104.830,90	8,32	30.457,44	1,23
2019	3.794.062,30	13,67	3.778.891,17	14,94	15.171,13	0,62

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

2020	3.244.417,94	11,69	3.148.151,89	12,45	96.266,05	3,90
2021	3.308.160,83	11,92	3.279.163,35	12,97	28.997,48	1,18

Já no bioma Amazônico, apenas 2,51% de sua extensão foi queimada durante o mesmo período, como mostrado na Tabela 1 com os resultados de área queimada por bioma. A distribuição espacial de área queimada pode ser visualizada na imagem abaixo

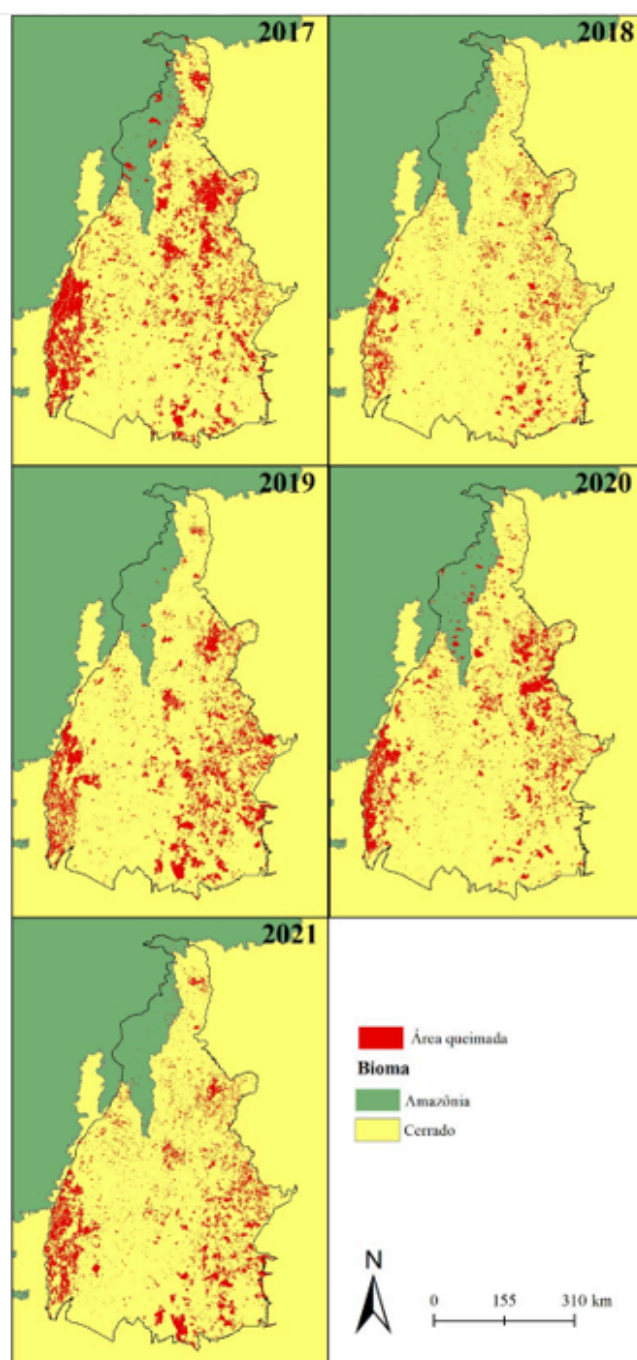


Figura 3 - Distribuição espacial de área queimada no estado do Tocantins

Uso e Ocupação do Solo

Com base nos dados do MAPBIOMAS, pode-se observar que o estado do Tocantins é majoritariamente composto por quatro classes de cobertura e uso do solo: formação savânica, pastagem, formação florestal e formação campestre, que juntas representam 84,4% da extensão territorial do estado, conforme demonstrado na Figura 4.

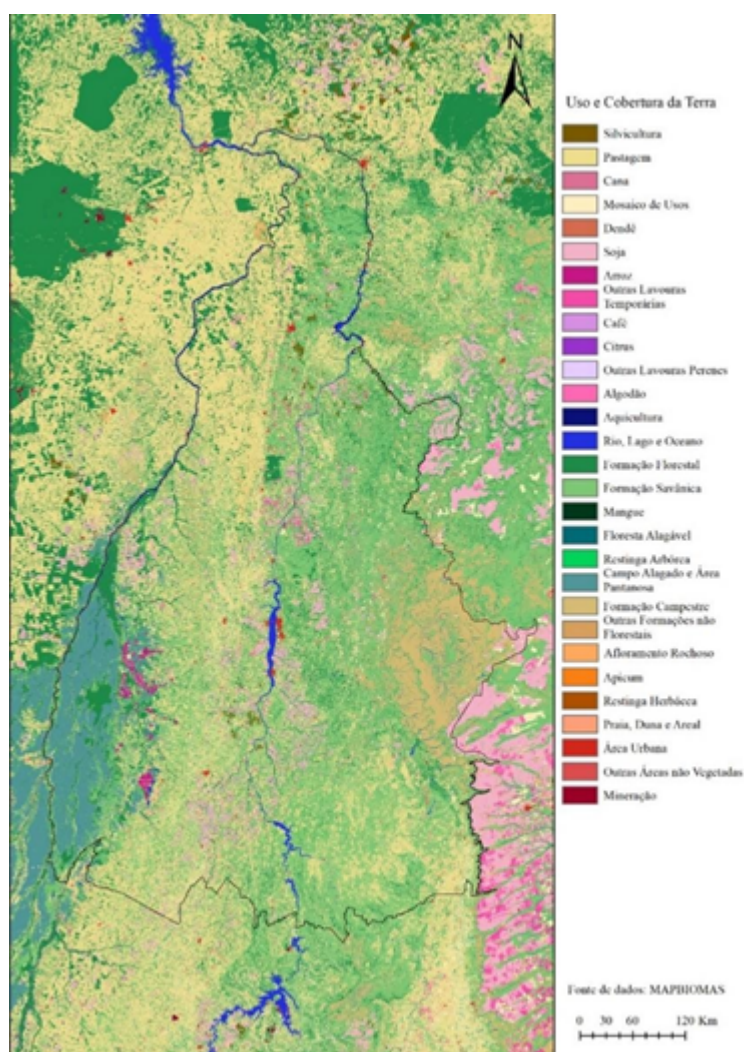


Figura 4 – Mapa de Uso e Cobertura da Terra MAPBIOMAS (2022).

A partir da análise das áreas queimadas é possível constatar que elas estão predominantemente distribuídas entre as classes de uso e ocupação do solo mais abundantes no estado. Com base na Figura 3, em relação ao uso e ocupação do solo da Amazônia Legal no Estado

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Tocantins, observa-se que áreas de pastagem; formação florestal e formação campestre corresponderam às maiores áreas queimadas em relação aos dados de 2017 a 2021. No que refere-se aos dados da área de Cerrado em relação ao uso e ocupação do solo, observou-se maiores ocorrências em locais de formação savânica, campo alagado e formação campestre.

No bioma Amazônia pode-se notar que a categoria de uso e ocupação mais afetada por queimadas foi a de pastagens. As áreas desmatadas na Amazônia para criação de pastagens tendem a ser mais afetadas por queimadas. Isso ocorre porque as gramíneas das pastagens secam durante a estação seca, tornando-se inflamáveis. Além disso, as práticas de manejo agropecuário, como a queima para renovar pastagens, contribuem para a alta incidência de fogo nessas áreas. O Cerrado tem uma estação seca mais pronunciada, o que aumenta a quantidade de biomassa seca e a probabilidade de incêndios, especialmente na classe de formação savânica. No entanto, as queimadas se intensificam devido a atividades humanas, como a expansão agrícola e pecuária, que frequentemente utilizam o fogo para manejo do solo (Patriota, et al. 2017). Este fato pode ser observado de forma clara na Figura 5.



HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

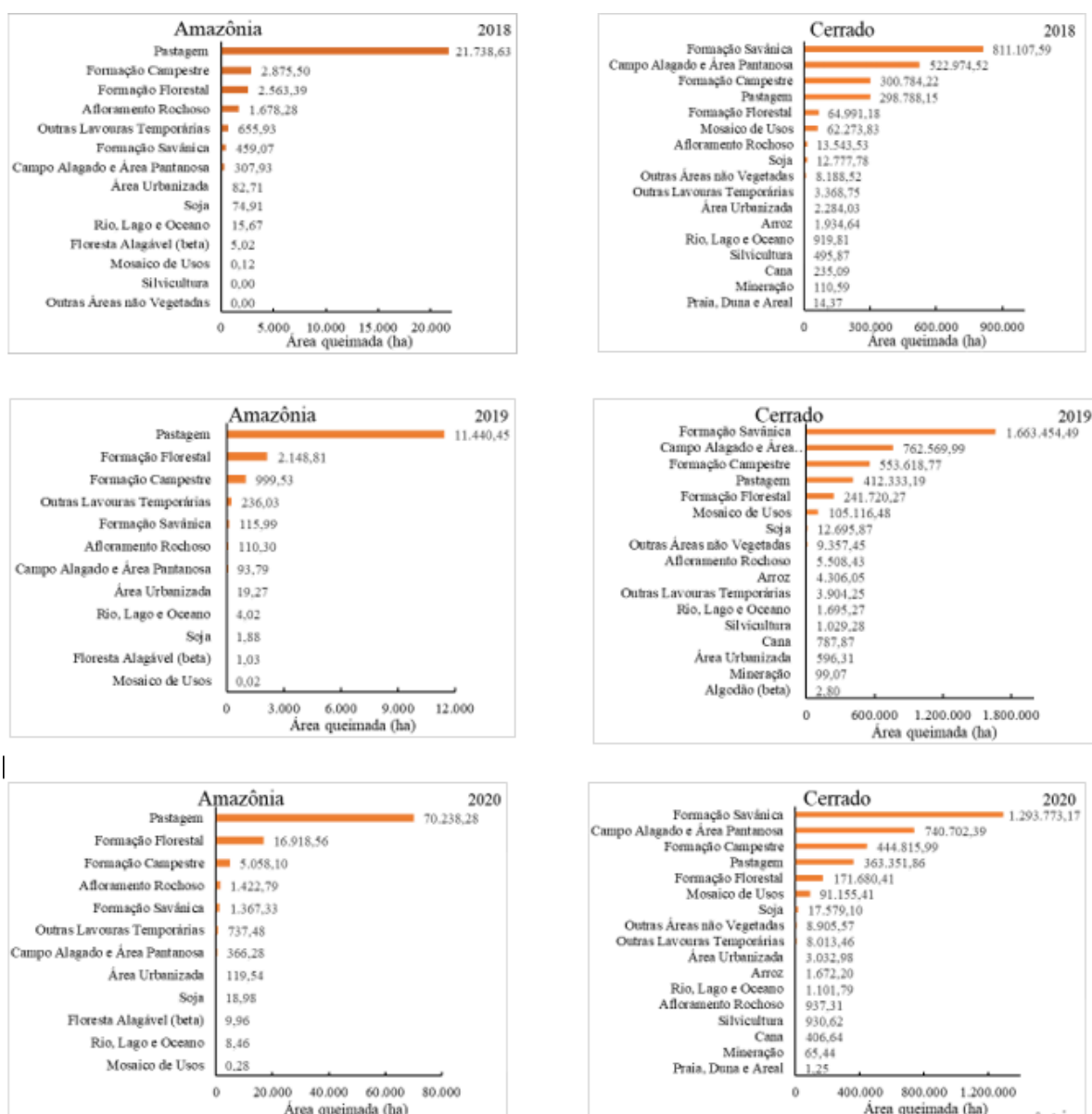


Figura 5 – Quantidade de área queimada por classe de uso e ocupação do solo

Ocorrência de incêndios florestais em áreas urbanas e rurais

A partir dos dados de análise das áreas queimadas em zonas rurais e urbanas (Tabela 2), é possível constatar que elas estão presentes majoritariamente na área rural, devido a fatores como a maior disponibilidade de combustível natural, com grande área de vegetação, pastagens e cultivos. Ainda, a baixa umidade relativa do ar nas zonas rurais durante a estação seca do Tocantins, nos meses de maio a setembro (Libonati et al. 2015), que aumenta a inflamabilidade

da vegetação. As práticas de manejo e uso da terra, como a expansão agrícola nas fronteiras (Pedroso Júnior et al. 2008). Áreas rurais também possuem menor infraestrutura e recursos limitados, como estradas e acessos, brigadas, sistemas de alerta, chegada rápida das equipes, dificultando o combate a incêndios. Já as áreas urbanas são construídas de forma a minimizar o risco de incêndios, geralmente com edifícios feitos de materiais menos inflamáveis, além da zona urbana possuir sistemas de alerta, monitoramento e serviços emergência muito acessíveis (DE CASTRO, Carlos Ferreira; ABRANTES, José M. Barreira. 2005).

Tabela 2 – Extensão de área queimada em zonas rurais e urbanas no Tocantins.

Ano	Area queimada total urbana (ha)	Porcentagem m (%)	Area queimada total rural (ha)	Porcentagem (%)
2017	1.194,13	0,004	4.842.787,21	17,45
2018	1.508,39	0,005	2.133.779,95	7,69
2019	597,20	0,002	3.793.465,10	13,67
2020	2.555,54	0,009	3.241.862,40	11,68
2021	684,15	0,002	3.307.476,68	11,92

Considerações finais

O estado do Tocantins apresentou uma significativa extensão de incêndios florestais e queimadas, com predomínio nas áreas de Cerrado, evidenciando a alta vulnerabilidade desse ecossistema ao fogo e enfatizando a necessidade de estratégias eficazes de prevenção e manejo dos incêndios. A distribuição desses eventos está intimamente relacionada às classes de uso e ocupação do solo predominantes na região. As áreas queimadas concentram-se majoritariamente em formações savânicas, pastagens, formações florestais e campestres, ressaltando a influência direta das atividades

antrópicas e das características naturais do ambiente no regime de fogo do Tocantins. Verifica-se que as queimadas ocorrem predominantemente em áreas rurais. Isso se deve a diversos fatores, como a maior disponibilidade de combustível natural, caracterizada pela extensa presença de vegetação, pastagens e cultivos, além da baixa umidade relativa do ar durante a estação seca no Tocantins.

Referências

Lei nº 3.968. De 20 de julho de 2022. Institui o “Agosto Cinza” como Mês Estadual de Conscientização do Cidadão no Combate aos Incêndios e Queimadas no âmbito do Estado do Tocantins, e dá outras providências. Disponível em: <[Lei nº 9.605. De 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Disponível em: <\[http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm\]\(http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9605.htm\)>. Acesso em: 05 de março de 2024.](https://www.al.to.leg.br/arquivos/lei_3968-2022_60008.PDF#:~:text=Publicado%20no%20Di%C3%A1rio%20Oficial%20n%C2%BA,Tocantins%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAscias.>https://www.al.to.leg.br/arquivos/lei_3968-2022_60008.PDF#:~:text=Publicado%20no%20Di%C3%A1rio%20Oficial%20n%C2%BA,Tocantins%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%AAscias.>. Acesso em: 05 de março de 2024.</p></div><div data-bbox=)

Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial. Governo do Estado do Tocantins. 2012. Disponível em: <http://zoneamento.sefaz.to.gov.br/TO_AtlasTocantins2012_1/Atlas_do_Tocantins_2012.pdf>. Acesso em: 05 de março de 2024.

Atlas do Tocantins: Subsídios ao Planejamento da Gestão Territorial. Secretaria do Planejamento - SEPLAN. (2008). Superintendência de Planejamento e Gestão Central de Políticas Públicas. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico - DZE. Organizado por Ricardo Ribeiro Dias, Eduardo Quirino Pereira e Lindomar Ferreira dos Santos.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

5a ed. revista e atualizada. Palmas:SEPLAN. Disponível em:<http://www.seplan.to.gov.br/seplan/br/index2.php?area=download&id_m=153>. Acesso em: 06 de março de 2024.

BASE DE DADOS GEOGRÁFICOS- Mosaico Landsat 8, 2013. Disponível em:<
http://zoneamento.sefaz.to.gov.br/Imagens_Satelite/Landsat_8_2013_Mosaico/Conteudo_Mosaico_Landsat8_2013.pdf>Acesso em: 15 de maio de 2023.

BRASIL. Decreto Federal nº 2.661, de 8 de julho de 1998 (a). Regulamenta o parágrafo único do art. 27 da Lei nº 4.771/1965 (código florestal), mediante o estabelecimento de normas de precaução relativas ao emprego do fogo em práticas agropastoris e florestais. Disponível em <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/d2661.htm>. Acesso em: 05 de março de 2024.

BRASIL. LEI Nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa e dá outras providências. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em: 05 de março de 2024.

CENTRO DE MONITORAMENTO E MANEJO DO FOGO – CeMAF. Incêndios Florestais, 2022. Disponível em:<https://cemaf.org/incendios_florestais/>. Acesso em: 15 de maio de 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). 2022. Disponível em <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/to.html>>. Acesso em: 06/03/2024.

DE CASTRO, Carlos Ferreira; ABRANTES, José M. Barreira. Combate a incêndios urbanos e industriais. **Escola Nacional de Bombeiros, Sintra**, v. 2005, 2005

OLIVEIRA, V. F. R., SILVA, E. D. S., VICK, E., & SILVA, B. Geoprocessamento aplicado ao mapeamento de risco a incêndios. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 03, p. 1194- 1212, 2020.

LIBONATI, R.; CAMARA, C. C.; SETZER, A. W.; MORELLI, F.; MELCHIORI, A. E. An algorithm for burned area detection in the Brazilian Cerrado using 4 μ m MODIS imagery. *Remote sensing, Basel*, v. 7, n. 11, p. 15782-15803, 2015.

MACHADO, Ricardo Henrique Souza. Análise de Dados de queimadas ocorridas nos últimos anos no estado do Tocantins. 2022.

PATRIOTA, J. N., BATISTA, A. C., NETO, E. G., SANTOS, M. M., COELHO, M. C. B., & GIONGO, M. Avaliação das ocorrências de incêndios florestais no Estado do Tocantins. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 12, n. 3, p. 518-523, 2017.

PEDROSO JUNIOR, N. N.; MURRIETA, R. S. S.; ADAMS, C. A Agricultura de corte e queima: um sistema em transformação. *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas*, Belém, v. 3, n. 2, p. 3-12, 2008.

PLANALTO, Congresso Nacional. **Política Nacional de Manejo Integrado do Fogo**, 2018. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/Projetos/PL/2018/msg774-dezembro2018.htm. Acesso em: 06/03/2024.

Projeto MapBiomass – Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil. Disponível em <<https://doi.org/10.58053/MapBiomass/VJIJCL>> Acesso em: 07 de março de 2024.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa -SPI; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

VIOLA, M. R., AVANZI, J. C., MELLO, C. R. D., LIMA, S. D. O., & ALVES, M. V. G. Distribuição e potencial erosivo das chuvas no Estado do Tocantins. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 49, p. 125-135, 2014.

FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Federal do Tocantins.

Capítulo 18

TEORES DE AÇÚCARES EM DOIS CLONES DE EUCALIPTO EM RESPOSTA AO PARASITISMO PELO INSETO GALHADOR *Leptocybe invasa*

Mariane Lopes Rodrigues ¹

Maíra Ignacio Sarmiento ²

RESUMO

O gênero *Eucalyptus* é amplamente cultivado por seu rápido crescimento e utilidades industriais, mas a vespa-da-galha-do-eucalipto (*Leptocybe invasa*) tornou-se responsável por comprometer grande parte da produtividade da cultura. Este trabalho objetivou verificar os impactos da infestação por *L. invasa* nas quantidades de açúcares solúveis e amido em dois genótipos híbridos de *Eucalyptus tereticornis* Sm e *E. camaldulensis* Dehnh, com resposta diferencial de susceptibilidade ao inseto galhador *L. invasa*. O experimento foi realizado na Casa de Vegetação na Universidade Federal do Tocantins, foram usados quatro tratamentos: suscetível controle, resistente controle, suscetível infectado e resistente infectado. Posteriormente, ocorreram avaliações em três fases: pré-galha (4 dias após infestação), galha (26 dias) e pré-emergência (43 dias). Os resultados mostraram que na fase de pré-galha, o clone suscetível apresentou maior quantidade de glicose em comparação ao resistente, enquanto a quantidade de frutose não diferiu significativamente entre os tratamentos. Em relação à sacarose e ao amido, o clone suscetível infectado exibiu menores teores em comparação ao resistente. Na fase de galha, o clone resistente apresentou maiores quantidades de sacarose e amido, indicando melhor manutenção das reservas energéticas frente ao ataque. Na pré-emergência, os níveis de glicose, frutose e sacarose foram semelhantes entre os tratamentos, mas o clone suscetível mostrou maiores quantidades de amido comparado ao resistente. Esses resultados indicam que o clone resistente tem uma melhor capacidade de manter suas reservas energéticas e gerenciar o estresse causado por *L. invasa*, ao contrário do clone suscetível, que apresenta maior vulnerabilidade e alterações mais acentuadas em seu metabolismo.

Palavras-chave: *Eucalyptus*, vespa-da-galha, fisiologia, metabólitos.

¹ Graduanda em Agronomia, PIBIC/FAPT, Universidade Federal do Tocantins, mariane.lopes@mail.uft.edu.br.

² Doutor em Biologia e Ecologia das Alterações Globais, Curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Tocantins, mairaign@uft.edu.br

INTRODUÇÃO

Myrtaceae é uma família botânica que abriga o gênero *Eucalyptus* L'Hér, que contém árvores de desenvolvimento acelerado e possuem por volta de 600 espécies que são nativas da Austrália, algumas espécies também podem ser encontradas em locais distantes, como Nova Guiné e Timor (LADIGES; FRANK; GARETH, 2003). Espécies de eucalipto são cultivadas para diversas finalidades, como fabricação de celulose, madeira, carvão, barreiras quebra-vento, produção de óleos para a indústria, ornamentação, entre outras (HASSE, 2006).

O plantio de *Eucalyptus* tem se evidenciado pela sua alta produtividade, grande facilidade em se adaptar a ambientes variados, crescimento acelerado e, especialmente, pela utilização da matéria-prima na produção industrial (ROSADO et al., 2012). O crescimento progressivo da área dedicada ao plantio de eucalipto tem sido acompanhado por um aumento significativo nos problemas entomológicos, provavelmente devido às condições favoráveis oferecidas pelos monocultivos para a proliferação de insetos-praga (SCHUMACHER; VIERA, 2016).

A vespa-da-galha-do-eucalipto (*Leptocybe invasa* Fisher & La Salle; Hymenoptera: Eulophidae) é um dos principais insetos-praga que acometem a cultura do eucalipto, sendo responsável por comprometer grande parte da produtividade da cultura (GONÇALVES et al., 2013). O ataque deste parasita ao eucalipto aumentou devido a inexistência de inimigos naturais e as condições climáticas ideais, causando assim danos significativos, especialmente, em mudas de viveiros e nos primeiros meses de estabelecimento da cultura no campo (WILCKEN; BERTI FILHO, 2008).

A microvespa é oriunda da Austrália, tal como o eucalipto. Essa ataca as plantas jovens causando o surgimento de galhas nos

entrenós dos ápices dos ramos, nos pecíolos e nas nervuras centrais das folhas, promovendo o dobramento das folhas e crescimento atrofiado, além disso em situações mais graves de ataque, pode ocorrer a morte da planta. A vespa-da-galha-do-eucalipto fica grande parte da sua vida se desenvolvendo dentro do hospedeiro, deixando-o apenas quando alcança a fase adulta (MENDEL et al., 2004).

A planta para tentar se proteger do ataque da vespa *L. invasa* necessita de um gasto energético extremamente elevado, assim como, para atender as exigências nutricionais dos insetos galhadores que estão crescendo dentro da galha. Sendo assim, a planta hospedeira manda os compostos do metabolismo primário que deveriam ser usados na reprodução e desenvolvimento para o metabolismo secundário, utilizado para a produção de compostos de defesa (KANT et al., 2015).

Diante do exposto, a nossa hipótese é que o ataque pela vespa-da-galha-do-eucalipto (*L. invasa*) pode provocar alterações nas quantidades de açúcares solúveis e amido em dois genótipos híbridos de *Eucalyptus tereticornis* Sm e *E. camaldulensis* Dehnh com resposta diferencial de susceptibilidade ao inseto galhador *L. invasa*.

MÉTODO E MATERIAIS

O estudo foi conduzido em Casa de Vegetação na Estação Experimental de Pesquisa da Universidade Federal do Tocantins - UFT, no Campus Universitário de Gurupi (11°43' S e 49°04' O, 284 m de altitude).

As mudas que foram utilizadas neste trabalho são provenientes de matrizes de dois clones híbridos de *E. tereticornis* Sm × *E. camaldulensis* Dehnh, codificados como VS058 e VS062, ambos tolerantes à seca, sendo um suscetível e outro resistente à *L. invasa*

(Sarmiento et al. 2020). As mudas utilizadas neste trabalho foram produzidas no viveiro do Laboratório de Fitossanidade – Ecologia Aplicada e Funcional, da Universidade Federal do Tocantins, Gurupi. Após 120 dias de idade, as mudas produzidas em tubetes foram transplantadas para vasos plásticos com capacidade de 3,6 litros, contendo substrato comercial Bioplant® (Nova Ponte – MG). Após o transplante, as mudas passaram por aclimação em Casa de Vegetação por um período de 45 dias.

A criação de *L. invasa* foi iniciada através de mudas parasitadas do clone VS058. Essas mudas foram colocadas em gaiolas revestidas com tecido organza (2,5 m de largura; 2,6 m comprimento 3,0 m de altura), denominada de gaiola de criação. A partir desse momento, outras mudas sadias foram adicionadas à gaiola para serem ovipositar das. O inseto *L. invasa* foi coletado da gaiola de criação do Laboratório de Fitossanidade – Ecologia Funcional e Aplicada da UFT/Campus Universitário de Gurupi.

Ao todo foram usadas 96 mudas, sendo 48 mudas do clone suscetível (VS058) e 48 do clone resistente (VS062), das quais 24 mudas de cada clone foi infestado e 24 mudas de cada clone foram usadas no grupo controle. As plantas que foram infestadas tiveram seus ápices revestidos por uma sacola de organza contendo um microtubo de centrifugação com duas micro vespas, coletadas da gaiola de criação, em sequência abriu-se os microtubos e as vespas saíram para realizar a oviposição. Após um período de 24 horas as vespas foram retiradas juntamente com a organza e coletou-se os ápices ovipositar para as análises metabólicas. O grupo controle foi composto por 24 mudas de cada clone, as plantas também tiveram seus ápices revestidos por uma sacola de organza, sem a presença da vespa. Foram montados quatro tratamentos: suscetível controle, resistente controle, suscetível infectado e resistente controle. As coletas de material para as análises foram feitas em três diferentes tempos de desenvolvimento da galha:

pré-galha aos 4 dias após a infestação, galha aos 26 dias após a infestação e pré-emergência aos 43 dias após a infestação (Sarmiento et al., 2020).

Coletou-se três folhas completamente expandidas e três ápices caulinares (acima da primeira folha completamente expandida) de cada muda, sendo estes imediatamente congelados e mantidos em nitrogênio líquido, posteriormente foram liofilizadas e armazenadas em recipientes herméticos para serem transportadas à Universidade Federal de Viçosa, onde foi realizada as quantificações de açúcares solúveis e o amido destes materiais.

Para a quantificação de açúcares solúveis e o amido, foi adaptada a metodologia de Lisec et al. (2006), onde foram utilizados 10 mg de material liofilizado por repetição. Nesse material adicionou-se 700 µL de metanol 100%, em seguida essa mistura foi vortexada, feito isso as amostras foram para um termomixer por um período de 20 minutos, com uma temperatura igual à 80 °C, e velocidade de 750 rpm. Após essa etapa, a solução foi para uma centrífuga por um período de 15 minutos, à uma temperatura de 4 °C, e velocidade de 13.500 rpm. Concluída essa etapa transferiu-se o sobrenadante da solução para um microtubo de 2 ml.

Com o sobrenadante da solução foram quantificadas a glicose, a frutose e a sacarose. Para tanto, foi adicionado 375 µL de clorofórmio 100% ao sobrenadante, seguido de uma vortexação. Em seguida, foi adicionado 750 µL de água ultrapura (UPW), seguido de uma segunda vortexação, feito isso a solução foi levada para uma centrífuga por um período de 10 minutos, à uma temperatura de 4 °C, e velocidade de 13.500 rpm. Para cada metabólito confeccionou-se uma placa de Elisa, e posteriormente foi realizada uma leitura de espectrofotometria sob a faixa de 340 nm para glicose, frutose e sacarose (FERNIE et al., 2011). Com o pellet resultante da primeira centrifugação realizou-se uma

lavagem com etanol 70%, com o extrato resultante dessa lavagem foi realizada uma espectrofotometria para determinar o amido das plantas de eucalipto.

Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). As médias dos dados, quando aplicável, foram comparadas pelo teste Tukey em $P < 0,05$. As análises foram realizadas no software Sisvar.

DADOS E DISCUSSÃO

Na fase de pré-galha as plantas susceptíveis infestadas apresentaram maior quantidade de glicose quando comparadas às plantas resistentes controle ($p = 0.0142$), sendo que ambas não diferem significativamente das plantas susceptíveis controle e resistentes infestadas (Figura 1A). Não houve diferença significativa para frutose na fase de pré-galha ($p = 0.0774$) (Figura 1B). As quantidades de sacarose aos 4 d.a.i. foram significativamente maiores nas plantas susceptíveis controle, resistentes infestadas e resistentes controle quando comparadas ao tratamento suscetível infestada ($p = 0.0009$) (Figura 1C). As plantas susceptíveis infestadas e resistentes controle obtiveram quantias de amido significativamente menores quando comparadas ao tratamento suscetível controle, nesse mesmo período de coleta ($p = 0.0044$) (Figura 1D).

A glicose ($p = 0.0093$) e frutose ($p = 0.0054$) na fase de galha apresentaram maiores quantidades nas plantas susceptíveis controle e susceptíveis infestadas em comparação com as plantas resistentes controle, no entanto, estas não diferem significativamente das plantas resistentes infestadas (Figura 1A e 1B). Aos 26 d.a.i as plantas resistentes infestadas obtiveram maiores quantidades de sacarose em comparação aos tratamentos susceptíveis controle e resistentes controle ($p = 0.0011$) (Figura 1C). Na fase de galha as plantas resistentes infestadas tiveram as maiores quantias de amido ($p = 0.0024$), no

entanto esta não difere significativamente das plantas susceptíveis infestadas. Já o tratamento resistente controle apresentou as menores quantidades de amido (Figura 1D).

Na fase de pré-emergência não houve diferença significativa entre os tratamentos para as quantias de glicose ($p = 0.0989$), frutose ($p = 0.8418$) e sacarose ($p = 0.6721$), respectivamente (Figura 1A, 1B e 1C). Aos 43 d.a.i. as plantas do tratamento susceptíveis infestadas obtiveram as maiores quantidades de amido em comparação às plantas resistentes infestadas ($p = 0.0217$), contudo ambos não diferem significativamente dos tratamentos susceptíveis controle e resistentes controle (Figura 1D).

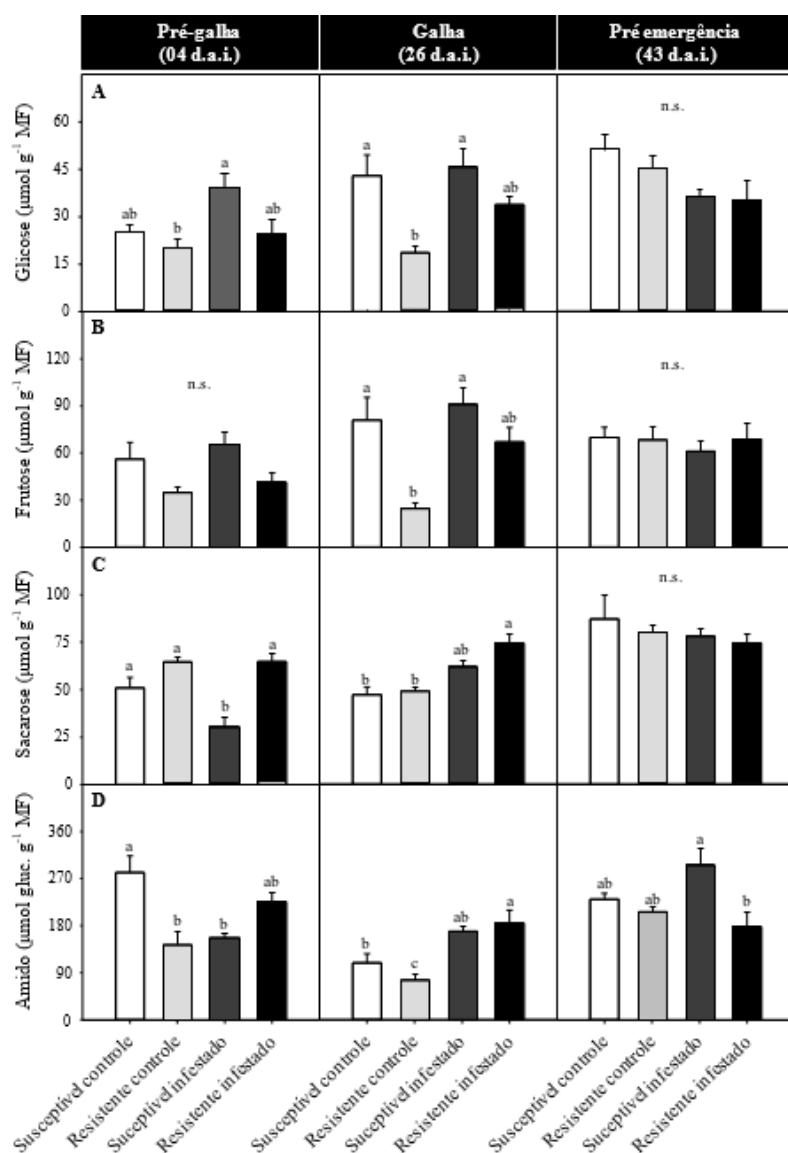


Figura 1. Quantidades de açúcares e amido em dois genótipos híbrido de Eucaliptos – *E. tereticornis* × *E. camaldulensis* (susceptível e resistente à *L. invasa*), de plantas controle e infestadas, com 4 d.a.i., 26 d.a.i e 43 d.a.i. (A) Glicose, (B) Frutose, (C) Sacarose, (D) Amido. Os dados são apresentados como média ± DP. Letras diferentes sobre as barras indicam diferenças significativas entre os tratamentos. Comparações foram realizadas pelo teste Tukey ($p < 0,05$).

De acordo com os estudos realizados por Pinto et al., (2022), os ápices de um clone de eucalipto resistente, quando ovipositados pelo inseto galhador *L. invasa*, mostraram uma redução nas quantidades de frutose, além de mudanças significativas em diversos outros compostos bioquímicos.

As maiores quantidades de amido e sacarose observadas no clone resistente infestado, na fase de galha e pré-galha, sugerem que a planta conseguiu manter suas atividades metabólicas sem sofrer impactos significativos pela presença da vespa-da-galha. O amido, sendo um composto de reserva insolúvel, é posteriormente degradado em açúcares menores, como glicose e sacarose (KOCH, 2004), essa reserva energética pode ser usada pela planta tanto para seu crescimento quanto para fortalecer sua defesa contra o ataque do inseto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Concluimos que os dois genótipos híbridos de *E.tereticornis* Sm × *E. camaldulensis* Dehnh responderam de forma distinta ao ataque de *L. invasa*. Enquanto o clone suscetível mostrou alterações nas quantidades de glicose, frutose e amido, o clone resistente permaneceu com as quantidades de açúcares solúveis e amido semelhantes, na fase de pré-galha. Já na fase de galha, o clone suscetível não apresenta modificações nas quantidades de açúcares,

enquanto o clone resistente aumenta a quantidade de sacarose. Já na pré-emergência, ambos os clones parecem entrar em uma fase de homeostase metabólica.

REFERÊNCIAS

FERNIE, A. R. et al. Recommendations for reporting metabolite data. *Plant Cell*, v. 23, n. 7, p. 2477- 2482, 2011.

GONÇALVES, J. L. DE M. et al. Integrating genetic and silvicultural strategies to minimize abiotic and biotic constraints in Brazilian eucalypt plantations. *Forest Ecology and Management*, v. 301, p. 6-27, 2013.

HASSE, G. *Eucalipto: histórias de um imigrante vegetal*. Porto Alegre: JA Editores, 2006. 127p. KANT, M. R. et al. Mechanisms and ecological consequences of plant defence induction and suppression in herbivore communities. *Annals of Botany*, v. 115, n. 7, p. 1015-1051, 2015.

KOCH, K. Sucrose metabolism: Regulatory mechanisms and pivotal roles in sugar sensing and plant development. *Current Opinion in Plant Biology*, v. 7, n. 3, p. 235-246, 2004.

LADIGES, P.Y., FRANK U., GARETH N. Australian biogeographical connections and the phylogeny of large genera in the plant family Myrtaceae. *Journal of Biogeography*, v.30, n. 7, p. 989-998, 2003.

LISEC, J. et al. Gas chromatography mass spectrometry-based metabolite profiling in plants. *Nature Protocols*, v. 1, n. 1, p. 387-396, 2006.

MENDEL, Z. et al. Taxonomy and biology of *Leptocybe invasa* gen. & sp. n. (Hymenoptera: Eulophidae), an invasive gall inducer on *Eucalyptus*. *Australian Journal of Entomology*, v. 43, n. 2, p. 101-113, 2004.

PINTO, I. O. et al. Cell death and changes in primary metabolism: the onset of defence in Eucalyptus in the war against *Leptocybe invasa*. *Pest Management Science*, v. 78, n. 4, p. 1721-1728, 2022.

SARMENTO, M. I.; PINTO, G. C.; ARAUJO, W. L.; SILVA, R. C.; LIMA, C. H. O.; SOARES, A. M. V.; SARMENTO, R. A. Differential development time of galls induced by *Leptocybe invasa* (Hymenoptera: Eulophidae) reveal differences in susceptibility between two Eucalyptus clones. *PEST MANAGEMENT SCIENCE*, v. 76, p. 1-14, 2020.

SCHUMACHER, M. V.; VIERA, M. (Ed.). *Silvicultura do eucalipto no Brasil*. Fundação de Apoio a Tecnologia e Ciencia-Editora UFSM, 2016.

VILELA, E. F.; ZUCCHI, R. A. . C. Histórico e impacto das pragas introduzidas no Brasil. *Mariposa-oriental, Grapholita molesta* (Lepidoptera: Tortricidae), p. 42-45, 2001.

WILCKEN, C.F.; BERTI FILHO, E. *Vespa-da-galha do eucalipto (*Leptocybe invasa*)* (Hymenoptera: Eulophidae): nova praga de florestas de eucalipto no Brasil. Piracicaba: Ipef, 2008. 11p.

FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Federal do Tocantins

Capítulo 19

MORFOMETRIA DE FRUTOS E GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE CEDRO MARIA (*Calophyllum brasiliense* Cambess)

Luiz Felipe Tiussi de Mendonça
Maria Cristina Bueno Coelho

Palavras-chave: Biometria, sementes nativas, patologias.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países com maior diversidade biológica do mundo e ao mesmo tempo uma das menos estudadas. Nos últimos anos a procura por mudas de espécies florestais nativas tem crescido no Brasil em razão da necessidade do reflorestamento. O guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess) é uma espécie pertencente à família Clusiaceae, considerada climácica por apresentar regeneração abundante na sombra, ombrófila densa, originária da região amazônica e do cerrado, sendo encontrada em vários estados do Brasil, desenvolvendo-se preferencialmente em florestas semidecíduas (c 2010). Esta espécie cresce abundantemente e normalmente em qualquer bacia brasileira, mas o fato de possuir características adaptadas a diferentes climas e solos de árido e seco a úmido e pantanoso a coloca à frente de outras espécies em condições competitivas e herbívoros causados por insetos (LISBOA et al., 2012). Seu crescimento é monopodial, característica que fornece um caule bem definido e pode atingir 40 m de altura, 1,5 m de diâmetro, seu ponta corte correto com cerca de 20 anos (CARVALHO, 1994).

Considerado o primeiro derivado da madeira de lei de resistência e de grande aceitação, este as espécies têm características estéticas

possivelmente substituindo o mogno (*Swieteniamacrophylla* King) e o cedro (*Cedrelafissilis*Vell.), pode ser usado na confecção de canoas, mastros de navios, móveis fino, construção naval e civil, chapas, lâminas faqueadas, fabricação de barris de vinho e também utilizado para paisagismo em geral. (NERY et al., 2007; LISBOA et al., 2012).

Seus frutos são consumidos por várias espécies da fauna, sendo útil para reflorestamento de áreas degradadas, tornando se ainda mais importante o estudo esta espécie é usada principalmente para substituição de mata ciliar em áreas inundadas revistas de médio e longo prazo. casca e látex usado na medicina popular para tratar úlceras e diabetes, e fortalecimento de tendões no veterinário animais (CARVALHO, 1994). os estudos para o conhecimento e preservação da sua flora e fauna. Na hipótese da germinação das sementes, algumas informações fragmentadas existem para os ecossistemas brasileiros, mas muito pouco ao se considerar o potencial biológico que existe para ser descoberto (BORGHETTI, 2000).

A semente de *Calophyllum brasiliense* é globosa, apresentando cor castanha e diâmetro variando de 14 mm a 22 mm (CARVALHO, 1994). Apresentam alto teor de umidade. Segundo Flores (2002), suas sementes apresentam grande quantidade de óleo, no entanto, segundo Nery et al. (2007b), o amido é a principal reserva da semente, as proteínas são tidas como fonte secundária de reserva seguida por um baixo conteúdo de açúcares. a germinação das sementes é considerada restauradora da atividade metabólica do eixo embrionário, paralisado na fase final do processo de amadurecimento; no entanto, quando estimulado sob condições ambientais, ele se desenvolve e, em seguida, a pele externa rompe a radícula. é um passo crítico do biociclo vegetal pelo fato do processo estar associado a vários fatores de natureza extrínseca (fatores do ambiente físico) e intrínseca, ou seja, a processos fisio metabólicos (BEWLEY & BLACK, 1994; LABORIAU, 1983; POPINIGIS, 1985). Segundo Flores (2002), A espécie

apresenta um embrião grande e bem endocarpo e tegumento duros e bem desenvolvidos, tegumento fino e macio, com grande embrião e grandes cotilédones, fundido, o hipocótilo também é grande, a radícula é pequena e denso, é o principal ingrediente de reserva lipídios de sementes. O tradicional método de propagação é via semente. No entanto, a quantidade produzida por árvore é limitada e a capacidade germinativa é variável, em torno de 80% (FERREIRA et al., 2007; NERY et al., 2007; MORANDI et al., 2009). Outro agravante é o fato de algumas sementes germinarem mais e melhor que outras, dependendo da origem, condições de armazenamento do tratamento prévio das sementes (CARVALHO; NAKAGAWA, 2000).

Estudos sobre a tecnologia de sementes de guanandi no país praticamente não existem ou são de domínio apenas das empresas reflorestadoras. No geral, as respostas germinativas das sementes podem ser influenciadas por fatores bióticos (p.ex. micro-organismos e alelopatia) e abiótico (p.ex. luz, temperatura, umidade, salinidade, pH, entre outros) (GUALTIERI; FANTI, 2015). Entre os abióticos, a temperatura destaca-se como um dos principais fatores que afetam a germinação (BASTIANI et al., 2015), pois atua na regulação das reações bioquímicas e enzimáticas envolvidas no processo germinativo (BEWLEY et al., 2014). Uma análise dessa espécie é muito importante e traz contribuições para o setor florestal, podendo auxiliar na tomada de decisões acerca dos aspectos técnicos e tecnológicos para a produção de sementes e de mudas.

Desta maneira e considerando a necessidade de maior conhecimento sobre os aspectos tecnológicos frutos e sementes de *Calophyllum brasiliense* Cambess, este trabalho tem por objetivo avaliar a morfometria de frutos e germinação de sementes dessa espécie, visando fornecer informações que poderão ser utilizadas em protocolos de análise de sementes e produção de mudas. Por isso a hipótese aqui testada é de que a morfometria de frutos e germinação

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

de sementes são influenciadas pela idade, espaçamento e tipo de tratamento aplicado nelas

OBJETIVOS

Considerando a necessidade de maior conhecimento sobre os aspectos tecnológicos de sementes de guanandi (*Calophyllum brasiliense* Cambess), este trabalho tem por objetivo avaliar a morfometria de frutos e germinação de sementes dessa espécie, levando em consideração a idade, espaçamento e tratamento visando fornecer informações que poderão ser utilizadas em protocolos de análise de sementes e produção de mudas.

Objetivos específicos

Determinação do comprimento, largura e espessura de frutos e sementes;

Testar tratamentos de germinação indicados na literatura;

Determinação da porcentagem , tempo e índice de velocidade médio de germinação;

Determinação da Porcentagem de plântulas normais e anormais;

METODOLOGA (OU MATERIAL E MÉTODOS)

Local de coleta

Com sede social na zona rural, denominada Fazenda Reunidas, na Estrada Dueré à Capão do Coco, Km 25, no Município de Dueré – Tocantins, CEP 77.485-000. A fazenda Reunida, de propriedade da empresa JAMP Agropecuária e Reflorestadora Ltda., onde está implantado o plantio comercial de *Calophyllum brasilienses* Cambess., está situada a 225 metros de altitude, entre as coordenadas geográficas Latitude: 11°20'46" Sul e Longitude: 49°16'6" Oeste (Figura 1),

distante 221 km da capital Palmas-Tocantins. O clima da região é do tipo tropical C2wA'a", segundo a classificação de Koppen, caracterizado como clima úmido a subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial média anual de 1.500 mm, distribuindo-se no verão em torno de 420 mm ao longo dos três meses consecutivos com temperatura mais elevada (Koppen& Geiger, 1928).

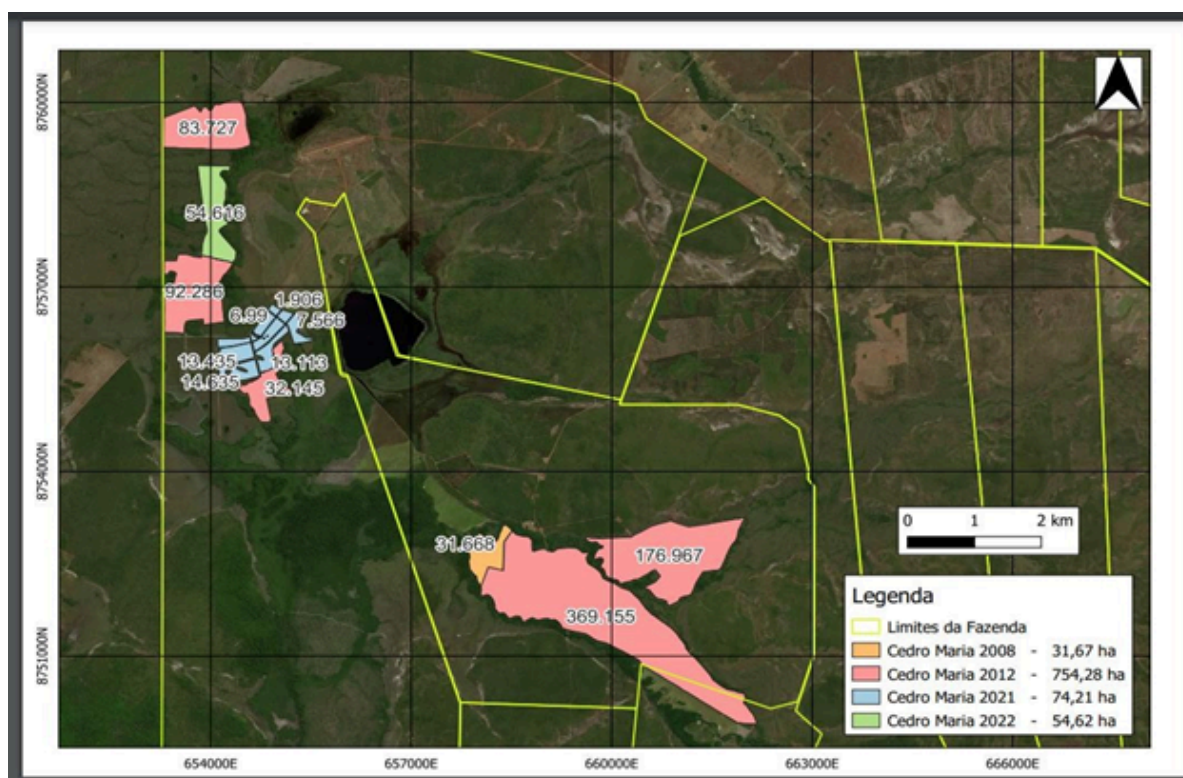


Figura 01: Mapa da Fazenda Reunidas onde estão localizados os plantios de *Caplophylumbraasilensi*

A declividade do terreno é do tipo A (igual ou inferior a 5%), ou seja, existe predominância de áreas com declives suaves, nos quais, na maior parte dos solos, o escoamento superficial é lento ou médio, não impedindo ou dificultando o trabalho de qualquer tipo de máquina agrícola sem manifestação de erosão hídrica (Sano et. al, 2008).

O solo da região de estudo é classificado como Latossolos e compreende áreas formadas por solos variando entre bem a fortemente drenados. São solos profundos e ocorrem em relevo suave

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

ondulado (predomínio de declives igual ou inferior a 5%). Os processos de escoamento superficial são difusos e lentos, com eventuais escoamentos concentrados (Sano et al., 2008).

A região do plantio é considerada de Cerrado onde ocorre preferencialmente clima estacional, com mais de cinco meses secos. Comporta formações vegetais de estrutura campestre e savânica. Entre as formações campestres, tem-se o campo limpo (savana gramíneo-lenhosa) e o campo sujo (Sano et al., 2007) .

As áreas dos talhões (Tabela 1) foram delimitadas por imagem do Google Earth e após validado seu perímetro com a tomada de pontos in locu. Dentro de cada talhão foram identificadas e materializadas as parcelas amostrais. A homogeneização do talhão deu-se pelas variáveis idade (anos), condições de relevo e topografia, DAP (cm), Ht (m), área basal, e,volume (m³).

Tabela 1 Talhonamento da área feito pela distribuição geográfica dos plantios,espaçamento,idade.

Talhão	Subdivisão	Área(ha)	Idade(anos)	Espaçamento(m)	Frutos coletados (kg)
Talhão1	Secção 1	92,7	11	3x 6	22.14
	Secção 2	84,4	11	3 x6	22.23
Talhão2		32,3	11	3 x3	18.56
Talhão3		10	15	Indefinido	20.74
Talhão4		371	11	3 x3	22.99
Talhão5		31,9	15	4 x2	18.66
Talhão6		175	11	3 X3	17.30
TOTAL		797,3			142.62

Os frutos foram coletados de árvores (Figura 2) no mês de Março (safra 2024) nas áreas plantadas com a espécie em cada talhão tendo como critérios de seleção os indivíduos adultos, em fase reprodutiva, com fuste reto, ausência ou reduzido número de ramificações laterais.



FIGURA 2 : Coleta e separação dos frutos por talhão

Local de realização do experimento e beneficiamento

Frutos maduros foram coletados, separados e transportados em sacos de plásticos para o Laboratório de Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Tocantins- UFT/Campus de Gurupi. Os frutos ficaram armazenados durante 10 dias em bandejas de plástico à temperatura ambiente, para favorecer o despolpamento (Figura 3 a e b).

O pericarpo foi removido com auxílio de estilete, considerando como semente o embrião coberto pelas camadas da testa e pelo endocarpo que, segundo Corner (1976), é uma fina camada, colapsada na testa. As sementes foram lavadas em água corrente durante um minuto e

colocadas por um minuto sobre papel absorvente para retirar o excesso de água e misturadas em proporções iguais de cada indivíduo. Em seguida a separação de 5 amostras de 1 kg de semente para cada talhão e a determinação do peso de mil sementes por talhão sendo este pesado em balança de precisão.



FIGURA 3 Frutos separados por talhão (a) e sementes separadas por talhão (b)

Biometria de frutos e sementes

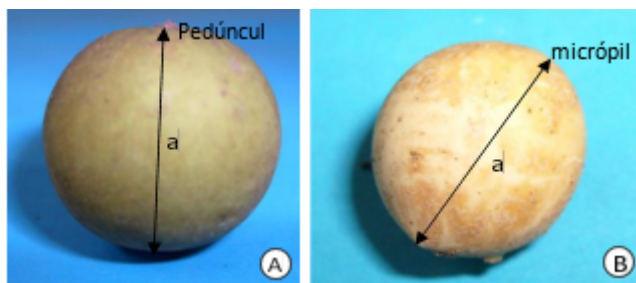
A caracterização morfométrica dos frutos e das sementes será realizada com paquímetro digital a partir da seleção de 300 frutos aleatoriamente dividida em seis lotes de 50 frutos por talhão num total de 2100 frutos. Os dados de comprimento, largura e espessura para frutos e sementes por talhão serão avaliados por meio da estatística descritiva e distribuição de frequências. Nas sementes, as características morfológicas externas observadas serão: largura e comprimento. A classificação dos frutos será baseada nas variáveis: comprimento, largura e massa. Para mensuração de comprimento e largura dos frutos será utilizado um paquímetro digital, sendo o comprimento considerado da base até o ápice e a largura obtida na parte mediana dos frutos e sementes.

Os dados das variáveis frutos e sementes serão submetidos à análise descritiva, obtendo-se as médias, valor máximo e mínimo, Desvio

Padrão-DP e Coeficiente de Variação-CV (Banzatto&Kronka, 1992) e a frequência relativa, de acordo com Labouriau e Valadares (1976).

Apesar de os frutos e sementes não serem esféricos, em função das pequenas variações entre suas dimensões (comprimento longitudinal e transversal), a medida de referência foi o comprimento longitudinal tomado do funículo, no caso do fruto, ou da micrópila, no caso da semente, à região oposta (Figura 4 A e B). As sementes dos quatro indivíduos foram misturadas em proporções iguais e medidas quanto ao comprimento longitudinal (mm), com paquímetro digital. A partir das medidas, as sementes serão classificadas e separadas em três intervalos de tamanhos, pequenos (de 13 a 15,99 mm), médios (de 16 a 16,99 mm) e grandes (de 17 a 21,00 mm).

Figura 4. Fruto (A) e semente (B, semente com testa e endocarpo colapsado) de *Calophyllum brasiliense* Cambess. Com detalhe do comprimento longitudinal (a).



Superação da dormência germinação

Para a instalação do experimento, as folhas de papel toalha serão envoltas com papel tipo "Kraft" e esterilizadas em estufa a 105 °C, durante 2 horas (BRASIL, 2009). Os tratamentos utilizados para superação da dormência serão:

(T1) : Testemunha sem nenhum tratamento, sementes intactas

(T2) : Imersão em água quente .Será realizada a imersão das sementes em água à temperatura de 90 °C por 10 min, e retiradas após o equilíbrio da temperatura com o ambiente.

(T3) : Imersão por um minuto no óleo da semente de *Calophyllum brasiliense* diluídos em água destilada (5%).a concentração de 0,5% (5 ml por . L-1 de água destilada)

O delineamento experimental utilizado para cada talhão será o inteiramente ao acaso constando de três tratamentos (método de superação da dormência) e quatro repetições de 30 sementes para cada tratamento. As avaliações serão realizadas diariamente até o momento de estabilização da germinação (protrusão da radícula). Será avaliado a porcentagem de germinação (G), o tempo médio de germinação (TMG), o índice de velocidade de germinação (IVG) e a frequência relativa de germinação (Frg), por meio das seguintes fórmulas:

$$G = \frac{G}{S} * 100$$

Em que :G o somatório de sementes germinadas até a estabilização da germinação e S o somatório de sementes colocadas para germinar.

$$TMG = \frac{(N_1T_1 + N_2T_2 + \dots + N_nT_n)}{(N_1 + N_2 + \dots + N_n)}$$

Em que: N1, N2, Nn o número de sementes germinadas nos tempos T1, T2 e Tn, respectivamente.

$$IVG = \left(\frac{G_1}{N_1}\right) + \left(\frac{G_2}{N_2}\right) + \dots + \left(\frac{G_n}{N_n}\right)$$

Em que : G1, G2 e Gn o número de sementes germinadas na primeira, segunda e última contagem; N1, N2, Nn o número de dias decorridos da semeadura na primeira, segunda e última contagem.

$$Frg = \left(\frac{\sum ni}{\sum ni}\right) * 100$$

Em que: ni o número de sementes germinadas por dia e $\sum ni$ o somatório de sementes germinadas.

A porcentagem de germinação será transformada em arco seno $(x/100)^{1/2}$ para normalização de sua distribuição. Posteriormente, os dados transformados, TMG e IVG serão analisados estatisticamente, sendo submetidos à ANOVA, por meio do programa estatístico SISVAR, ao nível de 5 % de probabilidade e, quando ocorreu significância, aplicou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Morfometria de frutos e sementes

Os tratamentos aqui considerados foram os talhões onde a estatística descritiva se encontra na tabela 2. Observa-se que para os frutos a ordem de crescimento do menor para o maior da variável altura (mm) é : T5, T3,T2,T4, T1S2, T1S1 e T6. Para variável peso (g) é: T5, T3,T2,T1S1, T4, T6, T1S2 e para a variável largura (mm) é:T5,T3,T2,T4,T6,T1S1 e T2S2 . Para as sementes a ordem de crescimento do menor para o maior para a variável altura (mm) é: T3,T2,T4,T5, T6,T1S1 e T1S2. Para variável peso(g) é: T2,T5,T4,T3,T6,T1S1 e T2S2 e para a variável largura(mm) é: T3,T2,T4,T6,T5,T1S1 e T1S2.Os frutos são considerados maduros pois tem altura e largura variando de 19 mm a 23 mm, com exceção dos talhões 3 e 5.De acordo com Kuhlmann (2018) todos os frutos têm tamanho médio (entre 10 a 40 mm de circunferência)

Tabela 2: Estatística descritiva de todos os talhões

T1S1							
FRUTOS				SEMENTES			
Variável	Altura (mm)	Largura (mm)	Peso (g)	Altura (mm)	Largura (mm)	Peso (g)	
Média	24,07	25,10	5,68	19,58	19,68	3,65	
Erro padrão	0,15	0,15	0,15	0,12	0,13	0,09	

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO
DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Desviopadrão	1,50	1,47	1,50	1,19	1,30	0,88
Variância	2,26	2,15	2,24	1,41	1,69	0,78
Curtose	-0,03	-0,58	-0,02	-0,03	-0,04	0,34
Assimetria	-0,33	-0,19	0,73	-0,45	-0,47	-0,38
Intervalo	7,10	6,41	6,75	5,76	6,60	4,50
Mínimo	19,95	21,48	3,01	16,23	15,98	1,02
Máximo	27,05	27,89	9,76	21,99	22,58	5,52
Contagem	100	100	100	100	100	100
Confiança(95,0%)	0,30	0,29	0,30	0,24	0,26	0,18
CV %	6,24	5,84	26,38	16,06	6,60	24,19

T1S2

FRUTOS SEMENTES

Varíavel	Altura (mm)	Largura (mm)	Peso (g)	Altura (mm)	Largura (mm)	Peso (g)
Média	23,48	24,10	7,69	19,58	19,69	4,21
Erropadrão	0,18	0,19	0,16	0,15	0,16	0,10
Desviopadrão	1,76	1,89	1,61	1,48	1,58	1,03

Variância	3,09	3,56	2,59	2,19	2,50	1,05
Curtose	0,47	0,34	-0,47	0,42	0,22	-0,04
Assimetria	-0,77	-0,76	-0,23	-0,88	-0,87	-0,51
Intervalo	8,28	8,91	7,13	6,84	6,89	4,90
Mínimo	18,39	18,75	4,02	15,19	15,13	1,47
Máximo	26,67	27,66	11,15	22,03	22,02	6,37
Contagem	100	100	100	100	100	100
Confiança(95,0%)	0,35	0,37	0,32	0,29	0,31	0,20
CV%	7,49	7,83	20,91	7,56	8,02	24,38

T2

FRUTO SEMENTES

Varíavel	Altura (mm)	Largura (mm)	Peso (g)	Altura (mm)	Largura (mm)	Peso (g)
Média	21,73	20,84	5,23	17,00	15,79	2,30
Erropadrão	0,20	0,18	0,11	0,17	0,17	0,06

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO
DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Desviopadrão	2,02	1,78	1,11	1,62	1,62	0,62
Variância	4,08	3,18	1,24	2,63	2,63	0,38
Curtose	0,76	2,66	0,46	1,17	1,10	1,41
Assimetria	0,05	0,60	0,32	0,40	0,24	0,31
Intervalo	11,64	11,97	6,02	8,57	9,22	3,42
Mínimo	16,09	16,06	2,77	12,86	11,01	0,80
Máximo	27,73	28,03	8,79	21,43	20,23	4,22
Contagem	100	100	100	96	96	96
Confiança(95,0%)	0,40	0,35	0,22	0,33	0,33	0,12
CV%	9,30	8,56	21,27	9,55	10,27	26,80

T3

FRUTO SEMENTES

Variável	Altura (mm)		Largura (mm)		Peso (g)	Altura (mm)		Largura (mm)		Peso (g)
Média	18,82	18,30	4,16	11,97	11,59	3,40				
Erropadrão	0,26	0,24	0,11	0,09	0,09	0,13				
Desviopadrão	2,54	2,39	1,08	0,90	0,92	1,32				
Variância	6,47	5,70	1,18	0,81	0,84	1,75				
Curtose	15,09	-1,28	-0,34	-0,17	-0,63	-0,74				
Assimetria	-2,54	0,30	-0,27	-0,45	0,29	0,45				
Intervalo	20,59	8,91	5,24	4,12	4,15	6,05				
Mínimo	2,72	14,15	1,06	9,75	9,59	0,90				
Máximo	23,31	23,06	6,30	13,87	13,74	6,95				
Contagem	99	99	100	100	100	99				
Confiança(95,0%)	0,51	0,48	0,22	0,18	0,18	0,26				
CV%	13,52	13,04	26,10	7,53	7,91	38,9				

T4

FRUTO SEMENTES

Variável	Altura (mm)		Largura (mm)		Peso (g)	Altura (mm)		Largura (mm)		Peso (g)
Média	23,11	22,10	5,68	18,65	17,90	3,11				
Erropadrão	0,19	0,20	0,15	0,12	0,14	0,08				
Desviopadrão	1,88	2,04	1,50	1,22	1,41	0,81				

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO
DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Variância	3,52	4,15	2,24	1,50	2,00	0,66
Curtose	0,09	-0,52	-0,02	0,07	0,08	0,09
Assimetria	0,35	0,21	0,73	0,13	0,43	0,22
Intervalo	9,70	9,34	6,75	5,72	7,38	4,18
Mínimo	18,61	17,96	3,01	15,77	14,62	0,92
Máximo	28,31	27,30	9,76	21,49	22,00	5,10
Contagem	100	100	100	100	100	100
Confiança(95,0%)	0,37	0,40	0,30	0,24	0,28	0,16
CV%	8,12	9,22	26,38	6,57	7,89	26,11

T5

	FRUTO			SEMENTES		
Variável	Altura (mm)	Largura (mm)	Peso (g)	Altura (mm)	Largura (mm)	Peso (g)
Média	11,96	12,01	2,69	19,10	18,72	2,69
Erropadrão	0,08	0,08	0,08	0,14	0,15	0,12
Desviopadrão	0,78	0,75	0,81	1,18	1,24	1,02
Variância	0,61	0,57	0,65	1,40	1,54	1,04
Curtose	0,43	-0,17	2,18	0,29	1,02	-1,08
Assimetria	-0,22	-0,37	1,18	-0,16	-0,51	0,14
Intervalo	4,44	3,79	4,30	6,46	6,94	3,64
Mínimo	9,80	9,90	1,38	15,77	14,52	1,11
Máximo	14,24	13,69	5,68	22,23	21,46	4,75
Contagem	100	100	100	67	67	67
Confiança(95,0%)	0,15	0,15	0,16	0,29	0,30	0,25
CV%	6,53	6,29	30,06	6,20	6,63	37,86

T6

	FRUTO			SEMENTES		
Variável	Altura (mm)	Largura (mm)	Peso (g)	Altura (mm)	Largura (mm)	Peso (g)
Média	24,11	23,33	7,01	19,44	18,01	3,46
Erropadrão	0,28	0,17	0,14	0,14	0,14	0,08
Desviopadrão	2,83	1,66	1,38	1,39	1,41	0,81

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Variância	8,01	2,76	1,92	1,94	1,99	0,66
Curtose	33,87	1,61	1,26	0,81	1,26	2,64
Assimetria	-4,40	0,40	0,37	-0,21	0,37	0,89
Intervalo	28,11	9,98	8,25	8,20	7,90	4,83
Mínimo	2,53	19,09	3,74	15,40	14,55	1,80
Máximo	30,64	29,07	11,99	23,60	22,45	6,63
Contagem	100	100	100	100	100	100
Confiança(95,0%)	0,56	0,33	0,27	0,28	0,28	0,16
CV%	11,74	7,12	19,74	7,17	7,82	23,52

Teste de Tukey

Foi feito o teste de tukey com 95% de probabilidade de confiança para frutos e sementes para as variáveis altura, largura e peso por talhão (Tabela 3). Para a variável peso de frutos são iguais os talhões T1S1 a T2; T1S1 a T4 e T2 a T4. Para a variável altura os talhões iguais são: T1S1 a T2S2; T1S1 a T6; T1S2 a T4 e T1S2 a T6 e para variável largura dos frutos todos os talhões diferem entre si. Já para a variável peso de sementes não existe diferença entre T1S1 a T3; T1S1 a T6; T2 a T5; T3 a T4 e T3 a T6. Para a variável altura de sementes os talhões iguais são: T1S1 a T1S2; T1S1 a T5 e T1S1 a T6; T1S2 a T5 e T1S2 a T6. Para a variável largura todos os talhões diferem entre si.

Tabela 3: Teste de Tukey para as variáveis peso(g), largura(cm) e altura (cm) para as variáveis frutos e sementes de *Calophyllum brasiliense*

FRUTOS		SEMENTES			
PESO (g)		LARGURA (mm)	ALTURA(mm)		PESO (g)
LARGURA (mm)		ALTURA(mm)			
Diferença	(p)	Diferença	(p)	Diferença	(p)
Diferença	(p)	Diferença	(p)		
T1S1 a T1S2	20.90	< 0.01	0.97	< 0.01	0.53
ns				ns	0.52
					< 0.01
					0.08
					ns

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO
DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

T1S1 α T2	0.46	ns	42.40 < 0.01	23.50 < 0.01	13.98 < 0.01	38.27 < 0.01	25.68 < 0.01
T1S1 α T3	15.00 < 0.01	67.9 < 0.01	52.30 < 0.01	0.26	ns	80.20 < 0.01	75.90 < 0.01
T1S1 α T4	29.00 < 0.01	130.4 < 0.01	120.9 < 0.01	0.951 < 0.01	0.87 < 0.01	0.48	ns
T1S1 α T5	13.40 < 0.01	17.80 < 0.01	0.090	ns	0.180	ns	16.50 < 0.01
	0.09	ns					
T1S1 α T6	13.40 < 0.01	17.80 < 0.01	0.09	ns	0.18	ns	16.50 < 0.01
	0.090	ns					
T1S2 α T2	25.50 < 0.01	32.70 < 0.01	18.20 < 0.01	19.18 < 0.01	39.06 < 0.01	25.38 < 0.01	
T1S2 α T3	35.90 < 0.01	58.20 < 0.01	47.00 < 0.01	0.78 < 0.01	81.00 < 0.01	75.60 < 0.01	
T1S2 α T4	20.90 < 0.01	19.60 < 0.01	0.35	ns	10.80 < 0.01	18.90 < 0.01	0.90 < 0.01
T1S2 α T5	49.90 < 0.01	120.7 < 0.01	115.6 < 0.01	14.71 < 0.01	0.95 < 0.01	0.45	ns
T1S2 α T6	0.750 < 0.01	0.810 < 0.05	0.62	ns	0.700 < 0.01	17.30 < 0.01	0.06
							ns
T2 α T3	10.40 < 0.01	25.50 < 0.01	28.80 < 0.01	11.37 < 0.01	41.93 < 0.01	50.21 < 0.01	
T2 α T4	0.460	ns	13.10 < 0.01	14.70 < 0.01	0.83 < 0.01	20.16 < 0.01	16.38 < 0.01
T2 α T5	24.40 < 0.01	88.00 < 0.01	97.40 < 0.01	0.44	ns	29.50 < 0.01	20.80 < 0.01
T2 α T6	18.00 < 0.01	24.60 < 0.01	24.40 < 0.01	12.18 < 0.01	21.76 < 0.01	24.78 < 0.01	
T3 α T4	15.00 < 0.01	38.60 < 0.01	43.50 < 0.01	0.29	ns	62.10 < 0.01	66.60 < 0.01
T3 α T5	14.00 < 0.01	62.50 < 0.01	68.60 < 0.01	0.69 < 0.01	71.43 < 0.01	71.01 < 0.01	

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

T3 a T6	28.40 < 0.01	50.10 < 0.01	53.20 < 0.01	0.08	ns	63.70 < 0.01
	75.00 < 0.01					
T4 a T5	29.00 < 0.01	101.1 < 0.01	112.10 < 0.01	0.39	ns	0.933 < 0.01
	0.44	ns				
T4 a T6	13.40 < 0.01	11.50 < 0.01	0.97 < 0.05	0.38	ns	0.160 ns
	0.84 < 0.01					
T5 a T6	42.40 < 0.01	112.6 < 0.01	121.8 < 0.01	0.77 < 0.01	0.77 < 0.01	
	0.39	ns				

Testes de germinação

As sementes foram plantadas no dia 5 de Junho e tiveram sua taxa de germinação medida aos 60 dias (Tabela 4) mostrando que o T1S1 e o T1S2 foram os talhões com maiores taxas de germinação e o T6 com menores taxas. Os resultados obtidos nos testes de germinação de *Calophyllum brasiliense* indicam uma significativa variação nas taxas de germinação entre os talhões e tratamentos utilizados. Conforme observado, os talhões T1S1 e T1S2 apresentaram as maiores taxas de germinação, enquanto o talhão T6 mostrou-se o menos eficiente, com valores de germinação extremamente baixos. A diferença nas taxas de germinação pode ser atribuída a fatores intrínsecos e extrínsecos, como a variabilidade na viabilidade das sementes, condições de umidade e temperatura do ambiente de plantio, e as características morfológicas das sementes, como o tamanho e peso, que influenciam diretamente o processo de germinação.

Tabela 4: Taxa de germinação de *Calophyllum brasiliense*

TALHÕES

Taxa de Germinação (%)	T1S1	T1S2	T2	T3	T4	T5	T6
T1	90,00	70	63,33	53,33	36,66	16,66	10
T2	60	20	40	40	13,33	13,33	0
T3	86,66	63,33	36,66	33,33	33,33	13,33	6,66

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

A análise dos dados de tempo médio de germinação (TMG) também revela uma discrepância significativa entre os talhões e tratamentos, sendo o T1 com menores tempos de germinação para todos os talhões, menos para o T6 que demonstrou tempos de germinação mais lentos para todos os tratamentos (Tabela 5)

Tabela 5: Tempo médio de germinação de *Calophyllum brasiliense*

TEMPO MÉDIO DE GERMINAÇÃO (DIAS)

TALHÃO	T1	T2	T3
T1S1	75	76	75
T1S2	75	77	77
T2	76	83	83
T3	77	83	84
T4	77	79	80
T5	77	83	85
T6		90	90

Além disso, os testes de velocidade de germinação indicaram que os talhões com melhores taxas de germinação também apresentaram velocidades de germinação superiores, destacando-se o T1S1 e T1S2. A velocidade de germinação está intimamente relacionada à qualidade das sementes e ao ambiente de germinação, e estes resultados corroboram com outros estudos que apontam para uma forte correlação entre a qualidade do ambiente e a taxa de sucesso na germinação de sementes (Tabela 6)

Tabela 6: Velocidade de germinação de *Calophyllum brasiliense*

Velocidade de germinação (dias)

TALHÃO	T1	T2	T3
T1S1	1,1	0,9	1,1

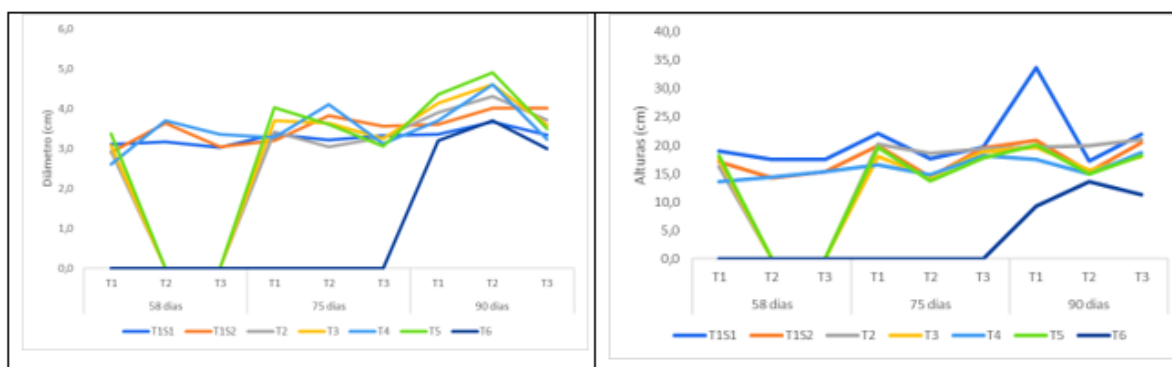
HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

T1S2	0,8	0,4	0,6
T2	0,7	0,3	0,3
T3	0,5	0,3	0,2
T4	0,3	0,3	0,3
T5	0,2	0,1	0,1
T6	0,0	0,0	0,0

Crescimento inicial em altura e diâmetro

O crescimento inicial foi medido com um paquímetro digital e com uma régua graduada em cm. do talhão 6, já para os tratamentos 2 e 3 os talhões T2,T3,T5 e T6 não tinham plantas germinadas aos 58 dias. Aos 75 dias somente o T6 não tinha nenhuma planta germinada em nenhum tratamento e aos 90 dias todos os tratamentos e todos os talhões tinham plantas germinadas.

Figura 5: Crescimento inicial de *Calophyllum brasiliense* para as variáveis diâmetro e altura



Já a ANOVA para as variáveis diâmetro e altura indica que não existe significativa de crescimento entre os tratamentos com exceção do T6 com os demais talhões.

Tabela 7: Tukey para as variáveis diâmetro e Altura para *Calophyllum Brasiliense*

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Diâmetro (cm)	Altura (cm)	
Talhões	Diferença	(p)
T1S1 A T1S2	0.1111	Ns
T1S1 A T2	0.4444	Ns
T1S1 A T3	0.1111	ns
T1S1 A T4	0.1111	ns
T1S1 A T5	0.3333	ns
T1S1 A T6	20.000	< 0.01
T1S2 A T2	0.5556	ns
T1S2 A T3	0.0000	ns
T1S2 A T4	0.0000	ns
T1S2 A T5	0.4444	ns
T1S2 A T6	21.111	< 0.01
T2 A T3	0.5556	ns
T2 A T4	0.5556	ns
T2 A T5	0.1111	ns
T2 A T6	15.556	< 0.05
T3 A T4	0.0000	ns
T3 A T5	0.4444	ns
T3 A T6	21.111	< 0.01
T4 A T5	0.4444	ns
T4 A T6	21.111	< 0.01
T5 A T6	16.667	< 0.05

A baixa performance do talhão T6 pode estar associada a fatores como condições inadequadas de umidade e temperatura, ou até mesmo à presença de patologias que comprometem a viabilidade das sementes. Tal fato reforça a necessidade de cuidados específicos na seleção de talhões para plantio de espécies florestais, como o *Calophyllum brasiliense*, cujo potencial para reflorestamento é amplamente reconhecido.

De maneira geral, os resultados deste estudo reforçam a importância da escolha adequada de sementes e manejo ambiental para otimizar a germinação de espécies nativas, contribuindo para o sucesso de projetos de reflorestamento e conservação da biodiversidade.

Esta variabilidade no comportamento de germinação entre os talhões e tratamentos se alinha com a literatura existente, que aponta para a necessidade de manejo criterioso e adequado para maximizar a eficiência da germinação em diferentes contextos edafoclimáticos.

CONCLUSÕES

O presente estudo nos permitiu concluir que as variáveis morfológicas, como o tamanho e o peso das sementes, influenciam diretamente nas taxas de germinação e no tempo necessário para o estabelecimento das plântulas não existindo diferença entre os tratamentos para superação da dormência. Sementes maiores e mais pesadas tendem a apresentar maior viabilidade e velocidade de germinação, confirmando a importância dessas características na escolha de sementes para programas de reflorestamento.

Além disso, os diferentes talhões estudados apresentaram variações significativas nas taxas e velocidades de germinação, sugerindo que fatores ambientais, como umidade e temperatura do solo, exercem grande influência no sucesso germinativo. O talhão T1S1 destacou-se com os melhores resultados, enquanto o talhão T6 apresentou o desempenho mais baixo, evidenciando a necessidade de manejo específico e otimização das condições de plantio para cada local.

De maneira geral, os resultados reforçam a relevância da escolha criteriosa de sementes e das práticas de manejo para aumentar o sucesso da germinação e a sobrevivência das mudas em projetos de reflorestamento. A espécie *Calophyllum brasiliense*, com seu grande

potencial para uso em áreas de recuperação ambiental, mostra-se como uma importante alternativa para restaurar áreas degradadas, desde que o processo de seleção de sementes e as condições de germinação sejam adequadamente controlados.

Esses dados fornecem subsídios valiosos para futuros projetos de conservação e reflorestamento, contribuindo para a sustentabilidade e a preservação das espécies nativas.

Referências

AQUINO, N. F.; AJALA, M. C.; DRANSKI, J. A.; IGNÁCIO, V. L.; MALAVASI, M. M.; MALAVASI, U. C. Morfometria de sementes de *Jatropha curcas* L. em função da procedência. *Revista de Ciências Agroveterinárias* 8(2): 142-145. 2009.

ALVES, R.M. Caracterização genética de populações de cupuazeiro, *Theobroma grandiflorum* (Willd. ex. Spreng.) Schum., por marcadores microssatélites e descritores botânico-agronômicos. Piracicaba, 2002. 146 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

AMARO, M. S. FILHO, S. M. GUIMARÃES, R.M. TEÓFILO, E. M. Morfologia de frutos, sementes e de plântulas de janaguba (*Himatanthus drasticus* (Mart.) Plumel. – Apocynaceae). *Rev. bras. sementes*.v. 28, n. 1, p. 63 – 71, 2006.

BANZATTO, D. A., & KRONKA, S. N. Experimentação Agrícola. Jaboticabal: FUNEP, 2. ed. 2046. 1992.

Bittrich, V. 2003. Clusiaceae. In: Wanderley, M.G.L., Shepherd, G.J., Melhem, T.S., Giulietti, A.M., Kirizawa, M. (eds.) *Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo*. Instituto de Botânica, São Paulo, vol. 3, p. 45-62.

CARVALHO P.E.R. Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potenciais e uso da madeira. Curitiba: Embrapa-CNPQ. p. 572, 1994.

CARVALHO P.E.R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003.

CRUZ, D. E.; CARVALHO, J. E. U. Biometria de frutos e sementes e germinação de curupixá (*Micropholis cf. verrugosa* Mart. & Eichler – Sapotaceae). *Acta Amazônica*, Manaus, v. 33, n. 3, p. 389-398, 2003.

FERREIRA, C. A. R.; FIGLIOLIA M. B.; ROBERTO, L. P. C. Ecofisiologia da germinação de sementes de *Calophyllum brasiliense* Camb. *IF Sér. Reg.*, São Paulo, n. 31, p. 173-178, 2007.

FLORES, E. M.; *Calophyllum brasiliense* Cambess. In: VOZZO, J. A. (Ed.) *Tropical tree seed manual*. Washington: USDA Forest Service, 2002, p. 353-356. (Agriculture Handbook, 721).

HERNÁNDEZ, G. M. M.; GARCÍA, C. O.; VALDEZ, A. G. V.; GÓMEZ, D. M. P. RUBÉN A. M. M.; CORTES, M. S. S. Contribución al conocimiento del árbol *Calophyllum brasiliense* CAMBESS, CLUSIACEAE: morfometría, KUHLMANN M. *Frutos e Sementes do Cerrado: Espécies atrativas para fauna: volume 1*. 2ed. Brasília. 2018.

Capítulo 20

INFLUÊNCIA DO TEMPO DE EXPOSIÇÃO AO SOLO NAS PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DAS MADEIRAS DE *Eucalyptus urophylla x grandis* E *Myracrodruon* *urundeuva* Fr. All

Maria Eduarda Pinto dos santos¹

Thatiele Pereira Eufrazio de Moraes²

Nicoli Teixeira³

Karolayne Ferreira Saraiva⁴

Raquel Marchesan⁵

RESUMO

O estudo teve como objetivo analisar como a exposição ao solo e condições ambientais influenciam físicas, químicas e energéticas da madeira de *Eucalyptus urophylla x grandis* e *Myracrodruon urundeuva* Fr. All plantadas na região sul do Tocantins, para a produção de energia. A pesquisa foi conduzida na Universidade Federal do Tocantins, onde foram colhidas seis árvores de cada espécie, com 13 anos de idade. As madeiras foram armazenadas ao ar livre por 12 meses antes da coleta de discos para análise. Os discos de madeira foram analisados para propriedades físicas e químicas, incluindo densidade básica, teor de extrativos, lignina, holocelulose e solubilidade em NaOH e água fria. Propriedades energéticas como poder calorífico superior, densidade energética e estoque de carbono também foram avaliadas. As análises foram realizadas usando testes estatísticos ANOVA, correlação linear e PCA. A madeira de *Myracrodruon urundeuva* apresentou maior densidade básica e teor de carbono fixo, e manteve um índice de valor combustível superior ao longo do tempo. Embora tenha havido uma redução na densidade energética, essa espécie mostrou-se mais eficiente em termos de energia devido ao seu maior estoque de carbono e densidade básica. Em contrapartida o *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus grandis*, apesar de um aumento no poder calorífico, apresentou aumento no teor de cinzas e uma diminuição no índice de valor combustível, reduzindo sua eficiência em potencial energético. A espécie *Myracrodruon urundeuva* demonstrou um desempenho superior em termos de eficiência energética e capacidade de armazenamento de carbono em comparação com *Eucalyptus urophylla x Eucalyptus*

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

grandis, indicando que é uma opção vantajosa para geração de energia a partir de madeira, podendo ser indicada para plantios de floresta energética.

Palavras-chave: Biomassa, Degradação, Eficiência energética.

¹ Graduanda em Engenharia Florestal, Pibic UFT, Universidade Federal do Tocantins, eduarda.pinto@mail.uft.edu.br

² Graduada em Engenharia Florestal, Pibic CNPq pela Universidade Federal do Tocantins, tatieleeufrazio@uft.edu.br

³ Estudante do segundo ano do Ensino Médio, Pibic/EM, Universidade Federal do Tocantins, nictex1@gmail.com

⁴ Graduada em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Tocantins. Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais (PPGCFA) da Universidade Federal do Tocantins, karolayne1409@mail.uft.edu.br ⁵ Doutora em Engenharia Florestal pela Universidade Federal do Paraná, Professora do curso de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Tocantins, raquelmarchesan@mail.uft.edu.br

INTRODUÇÃO

A utilização de materiais não renováveis para a produção de energia representa um passivo global significativo, envolvendo debates complexos entre a comunidade científica e a sociedade em geral. A geração de energia a partir de combustíveis fósseis é amplamente associada a consequências ambientais negativas, como a emissão de gases de efeito estufa (GEE), que contribuem para o aquecimento global e intensificam as mudanças climáticas (IPCC, 2021).

Dentro desse contexto, a madeira de *Eucalyptus* spp. surge como uma alternativa biológica promissora. Este material é renovável, sustentável e possui alto potencial produtivo e industrial. De acordo com o relatório da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2022). A madeira de *Eucalyptus* spp. também é empregada na queima direta, seja na forma de lenha ou cavaco, para a geração de energia térmica em

indústrias de base florestal e agroindustrial (Duarte et al., 2017). No entanto, a qualidade da madeira destinada à queima direta e à produção de carvão vegetal depende de vários fatores, incluindo suas características físicas, químicas e anatômicas, bem como das condições de armazenamento e secagem. Segundo Zanuncio et al. (2014), a madeira recém-abatida possui alto teor de umidade, o que afeta seu poder calorífico e, conseqüentemente, sua qualidade energética.

A secagem ao ar livre é um método comum e de baixo custo utilizado por indústrias siderúrgicas e carvoarias, que pode ser realizada em pátios cimentados ou diretamente sobre o solo. No entanto, conforme Rezende et al. (2010), este processo é mais demorado em comparação com a secagem em estufas e resulta em maior perda de umidade nas primeiras semanas, devido à saída da água de capilaridade e à perda gradual de água de impregnação nas semanas subsequentes (Ferreira et al., 2018).

Empresas frequentemente optam por manter a madeira ao ar livre e em contato com o solo durante a secagem, o que pode levar à deterioração da madeira devido à ação de agentes xilófagos e condições ambientais adversas. Esta degradação pode causar perda de massa e densidade, resultando em impactos negativos na qualidade da madeira para queima direta e na produção de carvão vegetal (Cordeiro et al., 2019).

Neste sentido, este trabalho visa determinar a influência da exposição ao solo e às intempéries nas propriedades físicas, químicas e energéticas da madeira de *Eucalyptus urophylla x grandis* e de *Myracrodruon urundeuva* (Silva et al., 2021), determinado as perdas e os ganhos em relação à produção de energia por queima direta.

MÉTODO E MATERIAIS

A pesquisa foi realizada na Universidade Federal do Tocantins, Campus Gurupi, no Laboratório de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais I. Para o experimento foram abatidas seis árvores de *E. urophylla* x *E. grandis* cujo plantio está localizado na fazenda experimental da UFT-Gurupi e *M. urundeuva* cuja floresta plantada está localizada na indústria de Telhas Tocantins (TETO), ambas as espécies foram coletadas aos 13 anos de idade (Figura 1). As árvores foram levadas para o campus universitário de Gurupi para a montagem das pilhas de estocagem, onde ficaram em torno de 12 meses expostas, após esse período foram retirados 14 discos do *E. urophylla* x *E. grandis* e 23 discos de *M. urundeuva* para a determinação das propriedades da madeira. Vale ressaltar que foram reservados discos da coleta inicial para testemunha (amostras sem exposição ao tempo).



Figura 1 – A: Plantio de *Eucalyptus*; B e D: Exposição da madeira ao tempo; C: Plantio da *M. urundeuva*

Dos discos da coleta inicial e após 10 meses de exposições, foram retiradas amostras para a determinação das propriedades físicas, químicas e energéticas.

Para a determinação da densidade básica foram utilizadas cunhas que foram submersas em água até a saturação total. Após a saturação, as mesmas passaram pelo ensaio de determinação do volume saturado pelo método da balança hidrostática de acordo com a norma D-2395 (ASTM, 2022). Das cunhas que sobraram, foram obtidos palitos que foram triturados, moídos e peneirados, transformados em partículas e selecionados na peneira de 60 mesh para a determinação da análise química molecular e da análise química imediata.



Figura 1 – Processo de preparo de cavacos de *Eucalyptus* spp.; B- Processo de picagem de *Eucalyptus* spp. e *Myracrodruon urundeuva* Fr. All; C- Processo de moer de *Eucalyptus* spp; D- Processo de peneirar de *Eucalyptus* spp.

A partir dessas partículas foram obtidos teores de umidade, extrativos totais, lignina total e holocelulose utilizando a metodologia de Wastowski (2018) e Gomide e Demuner (1986). Os teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas foram determinados de acordo com a norma D 1762-84 (ASTM, 2013). O poder calorífico da madeira será estimado de acordo com Channiwala et al. (2002) e Parikh et al. (2007), a densidade energética será realizada conforme Jesus et al. (2017) e o

cálculo para o estoque de carbono será realizado de acordo com Protásio et al. (2013) e o índice de valor combustível foi determinado pela densidade básica multiplicada pelo poder calorífico e dividindo-se esse valor pelo teor de umidade multiplicado pelo teor de cinzas.

Os dados obtidos foram avaliados estatisticamente seguindo o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com fatorial 2 x 2 (duas espécies e dois tempos de exposição). Foi realizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, seguida da análise de variâncias (ANOVA) no programa Statgraphics . Já, os testes de Tukey para comparação das médias ao nível de 5% de significância foram realizados por meio do programa estatísticos Sisvar. A análise de correlação linear de Person (r) foi realizado no programa Rbio e a Análise de Componentes Principais (PCA) para agrupamento das espécies foi realizado no programa Past 4.13.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas informações resultantes das análises obtidas, Na tabela 1 são apresentados os valores médios das propriedades físicas e químicas das madeiras *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e *Myracrodruon urundeuva*.

Tabela 1 – Médias das propriedades física e químicas da madeira de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e *Myracrodruon urundeuva*.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Parâmetros Madeira Propriedades física e químicas	Espécie	Tempo (meses)		Pr>Fc interação
		Inicial	12 meses	
Densidade básica (g/cm ³)	eucalipto	0,59 aB (17,85)	0,59 aB (5,39)	*
	aroeira	0,72 aA (2,48)	0,69 bA (3,82)	
Teor de extrativos (%)	eucalipto	7,93 aB (0,82)	5,90 bB (0,78)	*
	aroeira	9,01 aA (1,98)	6,46 bA (1,83)	
Teor de lignina (%)	eucalipto	20,71 aA (2,99)	21,38 aA (2,26)	*
	aroeira	13,66 bB (5,72)	15,75 aB (3,89)	
Teor de holocelulose (%)	eucalipto	72,87 aB (0,78)	71,37 bB (0,49)	*
	aroeira	77,79 aA (0,84)	76,33 bA (0,64)	
Solubilidade em NaOH (%)	eucalipto	15,40 bB (0,77)	17,65 bB (1,49)	*
	aroeira	17,01 bA (1,88)	19,47 bA (2,73)	
Solubilidade em água fria (%)	eucalipto	5,44 aA (2,83)	2,95 bA (5,39)	*
	aroeira	5,05 aA (9,55)	1,93 bB (5,39)	

Nota: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem estatisticamente (Teste de Tukey – $P \geq 0,05$). Os valores entre parêntesis correspondem ao coeficiente de variação (%). *Houve diferença significativa na a 5% de significância e interação entre os fatores.

Na tabela 1 é possível observar que houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade e houve interação entre os fatores espécie e tempo de exposição, refletindo a influência do tempo em todos os parâmetros analisados para as espécies estudadas. Entre as propriedades para a produção de energia, a densidade básica da madeira é particularmente importante. A densidade é uma característica quantitativa que varia com o ambiente e com o genótipo. É essencial para caracterizar madeiras para diversos fins, pois é fácil de determinar, de baixo custo e se correlaciona com as características físicas e mecânicas da madeira (EMBRAPA, 2017).

A espécie *Myracrodruon urundeuva* apresentou a maior média para densidade básica no tempo inicial (0,72 g/cm³), sendo considerada de média densidade e, apesar da diminuição da holocelulose em ambas

as espécies, manteve um índice superior de densidade básica (0,69 g/cm³) após 12 meses. Já, a espécie *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* apresentou um menor índice de densidade básica (0,59 g/cm³) em comparação com *Myracrodruon urundeuva*, porém se manteve mais estável ao longo do tempo.

A densidade básica de média à alta é vantajosa pela quantidade de massa por volume contida na madeira e pode influenciar positivamente na resistência da madeira à exposição e na geração de energia, sendo a última representada pela densidade energética da madeira.

As ligninas são moléculas amorfas, altamente complexas, formadas principalmente por unidades aromáticas de fenilpropano. Elas oferecem proteção contra microrganismos e são responsáveis pela resistência mecânica e pelo transporte de nutrientes e água, sendo essenciais para a resistência estrutural da madeira (ROWELL et al., 2005). Tanto a holocelulose quanto a lignina são compostas exclusivamente de carbono, hidrogênio e oxigênio e servem como fontes de energia e carbono para o crescimento fúngico (CRESTINI et al., 1998).

Em ambas as espécies, observou-se um aumento no teor de lignina com o tempo: *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* passando de 20,71% no tempo inicial, para 21,38% no tempo final de 12 meses de exposição, enquanto *Myracrodruon urundeuva* foi de 13,66% para 15,75%. Esse aumento se deve ao ataque na holocelulose, a qual possui correlação inversamente proporcional com a lignina, aumentando a proporção da mesma em relação a massa total da madeira.

A solubilidade em NaOH afeta as cadeias de hemicelulose, que se dissolvem em maior proporção quando frágeis. Uma madeira com alto teor de hemicelulose ou que sofreu degradação microbiológica tem

valores elevados para essa solubilidade, indicando perda de extrativos. A *Myracrodruon urundeuva* apresentou maior solubilidade em NaOH no tempo inicial (17,01%) e após 12 meses de exposição (19,47%) comparado a *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* (inicial 15,40% e final 17,65%), indicando assim que houve maior ataque de fungos no decorrer dos 12 meses na espécie *Myracrodruon urundeuva*, o que explica a sua perda de densidade básica no decorrer deste tempo.

Os extrativos são compostos químicos da parede celular, geralmente formados a partir de graxas, ácidos graxos, álcoois graxos, fenóis, terpenos, esteróides, resinas ácidas, resinas, ceras, e alguns outros tipos de compostos orgânicos. Estes compostos existem na forma de monômeros, dímeros e polímeros. Em geral está localizada no cerne (heartwood) (sem considerar a casca), e alguns são responsáveis pela cor, odor e durabilidade da madeira. A diferença qualitativa dos extrativos entre as espécies é baseada na quimiotaxonomia (taxonomia baseada nos constituintes químicos) (ROWELL et al, 2005).

Com relação aos extrativos, que foram diretamente influenciados pelo tempo, ambas as espécies apresentaram perda de extrativos. *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* exibiu valor médio de 7,93% no tempo inicial e perda para 5,90% no tempo final. Por outro lado, *Myracrodruon urundeuva* apresentou um valor médio de 9,01% no tempo inicial e perda para 6,46% no tempo final. Esses valores foram significativamente mais baixos no tempo final, conforme evidenciado pela solubilidade também em água fria, que está diretamente relacionada à perda de extrativos com a exposição ao tempo.

Na tabela 2, são apresentados os valores médios das propriedades energéticas da madeira, bem como a interação entre os tempos de exposição (inicial e 12 meses) e as espécies *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e *Myracrodruon urundeuva*. Nota-se que houve

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

diferença significativa ao nível de 5% de significância e houve interação entre os fatores tempo e espécie.

Tabela 1 – Médias das propriedades energéticas da madeira de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* e *Myracrodruon urundeuva*.

Parâmetros Madeira Propriedades energéticas	Espécie	Tempo (meses)		Pr>Fc interação
		Inicial	12 meses	
Materiais voláteis (%)	eucalipto	85,25 aB (4,87)	83,42 bB (1,71)	~
	aroeira	88,26 aA (1,90)	85,75 bA (0,11)	
Carbono fixo (%)	eucalipto	14,66 bA (28,27)	16,39 bA (8,78)	~
	aroeira	10,96 bB (11,83)	13,59 aB (0,50)	
Cinzas (%)	eucalipto	0,10 bB (39,31)	0,20 aB (11,45)	~
	aroeira	0,66 bA (5,12)	0,78 aA (7,06)	
Carbono elementar (%)	eucalipto	48,13 aA (1,56)	48,4 aA (0,55)	~
	aroeira	47,67 aB (0,59)	47,14 aB (0,10)	
Poder calorífico superior (Kcal/Kg)	eucalipto	4612,45 aA (1,78)	4642,09 aA (0,62)	~
	aroeira	4504,81 aB (0,67)	4562,77 aB (0,10)	
Densidade energética (Kcal/cm³)	eucalipto	2438,22 bB (1,77)	2772,24 aB (0,63)	~
	aroeira	3294,86 aA (0,67)	3126,70 bA (0,20)	
Estoque de carbono (Kg/m³)	eucalipto	254,41 bB (1,56)	289,03 aB (0,55)	~
	aroeira	344,24 aA (0,59)	327,20 bA (0,40)	
Índice de valor combustível	eucalipto	27,11 aB (22,96)	21,03 bB (8,59)	~
	aroeira	33,20 bA (11,84)	35,72 aA (0,51)	

Nota: Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem estatisticamente (Teste de Tukey – $P \geq 0,05$). Os valores entre parêntesis correspondem ao coeficiente de variação (%). *Houve diferença significativa na a 5% de significância e interação entre os fatores.

Ativ

Os materiais voláteis abrangem a parte do combustível que evapora quando ele é submetido a elevadas temperaturas. Isso é importante para a combustão do material. Após a evaporação, estes se misturam com o oxigênio e entram em combustão. Madeiras com altos teores de

voláteis queimam mais rapidamente (PEREIRA, 2000), pois estes voláteis se relacionam com a reatividade do material e ignição (KLAUTAU, 2008).

Os materiais voláteis apresentaram uma significativa perda devido aos ataques que a madeira sofreu influenciando no nível de volatilização com a perda da holocelulose, a espécie *Myracrodruon urundeuva* apresentou maiores valores no tempo inicial (88,26%) e valor médio de 85,75% no tempo final e na espécie *Eucalyptus urophylla x grandis* no tempo inicial o valor médio foi de 85,25% e 83,42%, evidenciando perdas em ambas as espécies. A perda de materiais voláteis em ambas as espécies pode ser atribuída ao ataque e degradação da madeira, que reduz a eficiência energética devido ao menor tempo de residência do combustível na câmara de combustão.

O teor de carbono fixo depende principalmente do teor de material volátil da madeira, já que os teores de cinzas para madeiras de eucalipto são baixos. Desta forma, madeiras com maiores teores de material volátil apresentam menores teores de carbono fixo (CHAVES et al., 2013).

O carbono fixo, por sua vez, tem relação direta com o poder calorífico. Cunha et al. (1989), afirmaram que quanto mais alto o teor de lignina e extrativos, maior será o poder calorífico do material, porque ele contém menos oxigênio que os polissacarídeos presentes na holocelulose (celulose e hemicelulose). O carbono fixo teve destaque na espécie *E. urophylla x E. grandis* no tempo inicial (14,66%) e no tempo final (16,39%) e na espécie *M. urundeuva* no tempo inicial (10,96%) e no tempo final (13,59%). Isso indica que o *E. urophylla x E. grandis* pode ser mais eficiente em termos de poder calorífico comparado a *M. urundeuva*.

O carbono elementar é uma forma de carbono emitida diretamente na atmosfera durante a combustão, e sua quantidade não variou

significativamente após 12 meses de exposição. A *Myracrodruon urundeuva* apresentou valores de carbono elementar estáveis (47,67%) para o tempo inicial e final (47,14%), assim como *E. urophylla* x *E. grandis* (48,13% e 48,04%, respectivamente).

O carbono elementar tem impacto menor no poder calorífico do que o carbono fixo, mas sua estabilidade indica uma combustão consistente.

As cinzas são resíduos inorgânicos da queima e têm uma relação inversa com o poder calorífico, pois não participam do processo de combustão e podem reduzir a eficiência energética. *Myracrodruon urundeuva* teve um leve aumento nas cinzas do tempo inicial (0,66%) para o final (0,78%), enquanto *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* também apresentou um aumento do tempo inicial (0,10%) para o final (0,20%). O aumento no teor de cinzas pode reduzir o poder calorífico, sendo preferível ter teores de cinza até 1,5% para otimizar a eficiência da biomassa (BRAND, 2010). Neste sentido as duas espécies encontram-se dentro do estimado para o teor de cinzas.

A madeira possui poder calorífico variável, dependendo da espécie, e indica a quantidade de energia liberada por unidade de massa durante a combustão. A composição química é a responsável por essa variação, estando relacionada diretamente aos teores de lignina, cinzas e extrativos. O poder calorífico apresentado obteve uma tendência a aumentar, espécie *Myracrodruon urundeuva* do tempo inicial (4504,81 kcal/kg) para o tempo final (4562,77 kcal/kg), a espécie *Eucalyptus urophylla* x *grandis* também aumento do tempo inicial (4612,45 kcal/kg) para o tempo final (4642,09 kcal/kg), isso demonstra que ambas as espécies mantiveram ou melhoraram seu poder calorífico ao longo do tempo.

A densidade energética é uma propriedade fundamental que mede a quantidade de energia contida em um material por unidade de volume. A espécie *E. urophylla* x *E. grandis* obteve um aumento que pode ser atribuído a um maior teor de carbono fixo e poder calorífico superior que aumentou do tempo inicial (2438,22 Kcal/cm³) para o tempo final (2772,34 Kcal/cm³), no entanto na espécie *M. urundeuva* apesar de apresentar valores significativamente maiores no tempo inicial (3294,86 Kcal/cm³) no tempo final apresentou uma diminuição significativa (3126,70 Kcal/cm³), essa redução pode estar relacionada de densidade básica, que é crítica para a eficiência energética da madeira. Mesmo com a diminuição, *Myracrodruon urundeuva* ainda apresentou uma densidade energética superior em comparação com *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*.

O estoque de carbono é crucial na avaliação da madeira como fonte de energia, uma vez que representa o carbono armazenado na biomassa, *M. urundeuva* teve um maior estoque de carbono no tempo inicial (344,24 Kg/m³) e no tempo final (327,20 Kg/m³) comparado a *E. urophylla* x *E. grandis* inicial (254,41 Kg/m³) e final (289,03 Kg/m³), o que indica que *M. urundeuva* pode ter um maior potencial para armazenamento de carbono.

O Índice de Valor Combustível (IVC) é uma métrica importante para avaliar a qualidade da madeira como combustível, que considera tanto as propriedades positivas quanto negativas da madeira em relação à sua eficiência energética. A espécie *M. urundeuva* apresentou um aumento significativo no IVC do tempo inicial (33,20%) para o final (35,72%), devido à maior densidade básica e energética. A espécie *E. urophylla* x *E. grandis* apresentou menor IVC nos dois tempos (inicial de 27,11% e final de 21,03%), refletindo uma redução na qualidade do combustível devido à menor densidade básica e energética.

Na figura 3 são apresentadas as correlações entre os parâmetros analisados para as madeiras de *E. urophylla* x *E. grandis* e *M. urundeuva*.

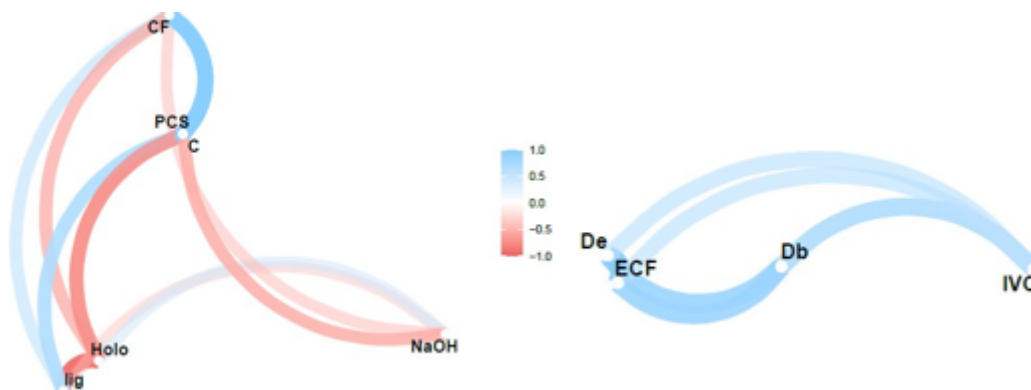


Figura 3- Apresenta as correlações entre os valores médios das propriedades física, químicas e energéticas das madeiras de *E. urophylla* x *E. grandis* e *M. urundeuva*.

Nota-se que houve correlação diretamente proporcional entre o poder calorífico superior (PCS), carbono elementar (C), carbono fixo (CF) e lignina (lig) , quanto maior o teor de lignina, maior os teores de carbono e maior o poder calorífico. Já, quando se compara a holocelulose, e a solubilidade em NaOH, as mesmas apresentaram correlações negativas, ou seja, inversamente proporcionais com poder calorífico, carbono elementar, carbono fixo e lignina. Em relação aos parâmetros densidade básica (Db), densidade energética (De), estoque de carbono (ECF) e índice de valor combustível (IVC), as correlações foram fortes e diretamente proporcionais. Ou seja, quanto maior a densidade básica, maior a densidade energética, o estoque de carbono e o índice valor combustível.

Na figura 4 é possível observar o agrupamento das espécies de acordo com as propriedades que mais se destacam. Nota-se que o *E. urophylla* x *E. grandis* destacou-se mais pelos maiores teor de carbono fixo (CF), lignina (lig) e carbono elementar (C) e conseqüentemente maior poder calorífico superior (PCS). Já, a espécie *M. urundeuva* teve

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

maior destaque nos parâmetros de densidade básica (db), estoque de carbono (ECF) e consequente maior densidade energética (De) e índice de valor combustível (IVC). Porém, destacou-se negativamente com maior teor de holocelulose (Holo) e maior solubilidade em NaOH.

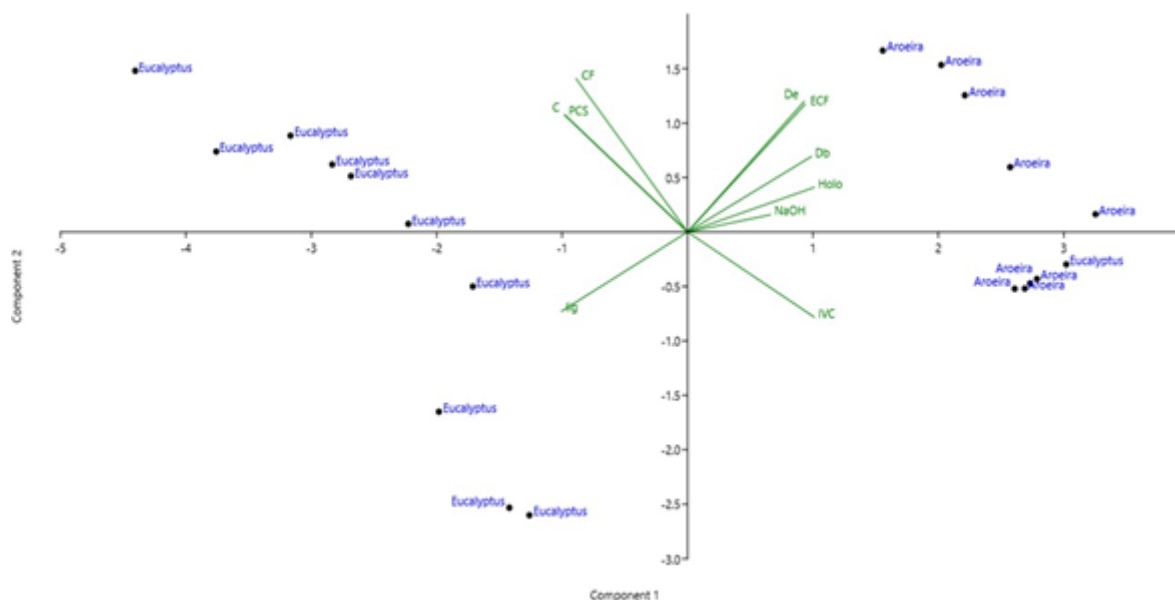


Figura 4 – Agrupamento (PCA) de *Eucalyptus urophylla* x *grandis* e *Myracrodruon urundeuva* em relação às características física, química e energética em que mais se destacaram.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A espécie *Myracrodruon urundeuva* teve um melhor desempenho geral em termos de densidade energética e índice de valor combustível (IVC). Apesar da perda de alguns parâmetros energéticos ao longo do tempo, como a densidade energética, a *Myracrodruon urundeuva* manteve um IVC superior, o que indica uma eficiência energética melhor como combustível em comparação com *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. A maior densidade básica e o maior teor de

carbono fixo também contribuem para a vantagem geral de *Myracrodruon urundeuva*.

O *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, também evidenciou bons resultados, demonstrando um aumento no poder calorífico superior ao longo do tempo, porém baixa performance diminuição no IVC indicam uma menor eficiência como combustível comparado com *Myracrodruon urundeuva*.

Diante dos dados apresentados é possível concluir que a espécie *Myracrodruon urundeuva* demonstrou um melhor potencial para geração de energia comparado a *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*. Isso é evidenciado por sua maior densidade básica, maior estoque de carbono, e índice de valor combustível superior, apesar da redução na densidade energética após 12 meses. Esses fatores indicam que *Myracrodruon urundeuva* tem um maior potencial para ser utilizado como combustível energético devido à sua maior capacidade de armazenamento de carbono e maior eficiência energética geral, o que indica uma boa alternativa para plantios energéticos com espécie nativa do cerrado, sendo uma alternativa mais sustentável para o bioma.

REFERÊNCIAS

BRAND, M.A. Energia da biomassa florestal. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). *Relatório Anual 2022*. 96 p. 2023. Disponível em:
<<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>> Acesso em: 17 maio 2023.

CRESTINI, C.; SERMANI, G.; ARGYROPOULOS, D. Structural modifications induced during biodegradation of wheat lignin by

Lentinula edodes. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, v. 6, p. 967-973, 1998.

CUNHA, M. P. S. C.; PONTES, C. L. F.; CRUZ, I. A.; CABRAL, M. T. F. D.; CUNHA NETO, Z. B.; BARBOSA, A. P. R. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: **3º Encontro Brasileiro em Madeiras e Estruturas de Madeira: Anais**, v. 2, p. 93- 121. São Carlos, 1989.

ROWELL, R. M.; PETTERSEN, R.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M. A. Cell wall chemistry. In: ROWELL, R. M. (Ed.). *Handbook of wood chemistry and wood composites*. New York: Taylor & Francis Group, 2005. cap. 3, p. 47-70.

SANTOS, I. D. *Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica, contração da madeira e nos rendimentos e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado*. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) — Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

SCANAVACA, L. Júnior; GARCIA, J. N. Densidade básica da madeira de eucalipto. *Embrapa, Meio Ambiente*, 2001. Disponível em:<<http://www.embrapa.br>>. Acesso em: 13 set 2024.

WASTOWSKI, Arci Dirceu. *Química da madeira*. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2018. 566 p.

ZANUNCIO, A. J. V.; LIMA, J. T.; MONTEIRO, T. C.; TRUGILHO, P. F.; LIMA, F. S. Secagem ao ar livre da madeira para produção de carvão vegetal. **Floresta e Ambiente**, v. 21, p. 401- 408, 2014.
Disponível em:
<<https://www.scielo.br/j/loram/a/KRz8Y7xNfWmvZJ9d6sLRqZC/?format=pdf&lang=pt>>

FINANCIAMENTO

“O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Federal do Tocantins”

Capítulo 21

UTILIZAÇÃO DA NANOCELULOSE COMO REFORÇO EM PAINÉIS DE Eucalyptus E CASCA DO FRUTO DO PEQUI

Thatiele Pereira Eufrazio de Moraes¹

Maria Eduarda Pinto dos Santos²

Nicoli Teixeira³

Raquel Marchesan⁴

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da adição de nanocelulose como agente de reforço na produção dos painéis aglomerados de baixa a média densidade produzidos a partir de partículas de Eucalyptus spp., da casca do fruto da espécie Caryocar brasiliense (pequi) e adesivo PVA. Para a produção dos painéis utilizou-se uma proporção de 50% de partículas de Eucalyptus, 50% de casca de pequi, 300 g de adesivo PVA e 2,5% de parafina. Para reforço dos painéis de Eucalyptus e pequi utilizou-se 257 g de nanocelulose em solução aquosa e 7,5% de nanocelulose liofilizada. Os painéis de Eucalyptus + pequi e Eucalyptus + pequi + nanocelulose liofilizada apresentaram maior densidade aparente e maior resistência à tração dentre todos os demais, assim como maior isolamento acústico. Os painéis de Eucalyptus obtiveram baixa agregação entre as partículas que resultaram em desempenho inferior nas suas propriedades físicas e, consequentemente, mecânicas. A nanocelulose em solução aquosa resultou em baixa performance nas características absorptivas dos painéis Eucalyptus + pequi + nanocelulose, além de aumento no inchamento. Os resultados obtidos atestaram melhor desempenho nos painéis cuja nanocelulose liofilizada foi adicionada, o que viabiliza a sua utilização na produção de painéis aglomerados para diversos fins, como produção de móveis, pisos e painéis de isolamento.

Palavras-chave: Caryocar brasiliense; Produtos De Maior Valor Agregado; Nanopartículas; Reaproveitamento.

¹ Graduação em Engenharia Florestal, Pibic CNPq, Universidade Federal do Tocantins, tatieleeufrazio@uft.edu.br.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

2 Graduação em Engenharia Florestal, Pibic UFT, Universidade Federal do Tocantins.
eduarda.pinto@uft.edu.br

3 Pibic Ensino médio UFT, Universidade Federal do Tocantins. nictex1@gmail.com

4 Doutorado em Ciências Florestais, Universidade Federal do Tocantins.
raquelmarchesan@uft.edu.br

INTRODUÇÃO

O mercado de painéis de madeira no Brasil apresenta um panorama promissor e em constante evolução. Os painéis de madeira são amplamente utilizados em diversos setores, como construção civil, mobiliário, indústria de embalagens, entre outros. Em consonância, a conscientização sobre a importância da sustentabilidade tem impulsionado a busca por produtos fabricados com madeira proveniente de manejo florestal responsável e certificado (IBÁ, 2022).

Com o intuito de enfrentar os obstáculos relacionados à sustentabilidade e aproveitando o melhor resultado da série histórica em receita no setor florestal, as empresas têm se esforçado continuamente na busca de novas tecnologias e soluções que permitam a utilização de resíduos de madeira e outros materiais alternativos como fontes de matéria-prima a fim de agregar valor aos seus produtos. Nesse contexto, a casca de pequi se destaca como uma opção viável, já que é um subproduto abundante na região central do Brasil.

O pequi (*Caryocar brasiliense*) é uma fruta típica do cerrado brasileiro, consumida na culinária regional do centro-oeste, norte e nordeste do país. Seu fruto é arredondado, com casca grossa e espinhosa e possui um caroço interno comestível envolvido por uma polpa amarela e aromática. A casca do fruto do pequi, representa cerca de 80% do peso do fruto maduro e pode ser utilizada como matéria-prima na produção de biocompósitos (MATOS et al., 2018). A

utilização das cascas do pequi para a produção de painéis aglomerados apresenta vantagens como a melhor compactação do painel e conseqüentemente aumento da densidade e resistência, além da redução do impacto ambiental causado pelo seu descarte inadequado no meio ambiente.

Os painéis aglomerados à base de madeira de *Eucalyptus* e casca de pequi surgem como uma alternativa sustentável para a confecção de produtos de maior valor agregado. A madeira do gênero *Eucalyptus* é amplamente utilizada na indústria de painéis, pois é uma espécie de crescimento rápido com características propícias para tal fim.

A nanocelulose é produzida a partir da celulose, principal componente da parede celular das plantas. É um material de baixa densidade e alta resistência mecânica, com propriedades como alta superfície específica, alta área superficial e alta cristalinidade (SANTIAGO e REIS, 2021). Essas propriedades fazem com que a nanocelulose apresente um grande potencial como aditivo para a melhoria das propriedades mecânicas de materiais compósitos, como os painéis aglomerados, melhorando a rigidez, resistência e a durabilidade das ligações (FERREIRA, 2017).

Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa é avaliar o efeito da adição de nanocelulose como agente de reforço na produção dos painéis aglomerados de baixa densidade produzidos a partir de partículas de *Eucalyptus* spp., da casca do fruto da espécie *Caryocar* brasiliense (pequi) e adesivo PVA.

MÉTODO E MATERIAIS

Obtenção dos materiais

A pesquisa foi realizada na Universidade Federal do Tocantins, Campus de Gurupi-TO, que está situada nas coordenadas 11° 43' S e 49° 04' W, no Laboratório de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais I. Para a produção das partículas de madeira foram colhidas árvores de *Eucalyptus* com 13 anos de idade na fazenda experimental localizada no Campus de Gurupi da Universidade Federal do Tocantins. As árvores foram processadas e transformadas em maravalhas que foram secas em temperatura ambiente por um período de um mês até atingir cerca de 5% de umidade e, posteriormente, foram moídas para a obtenção das partículas por meio do peneiramento e separadas em três categorias de granulometria. As partículas com maior granulometria foram retidas na malha de 16 mesh e as demais partículas (retidas nas malhas de 40 mesh e 60 mesh) foram reservadas para outros fins.

Para a produção das partículas derivadas do fruto da espécie *Caryocar brasiliense* (pequi), foram coletadas as cascas resultantes do descarte após obtenção do fruto numa feira municipal na cidade de Gurupi-TO. As cascas do pequi foram submetidas a um processo de seleção e limpeza e levadas para a estufa solar para a secagem e, por fim, foram moídas, peneiradas e selecionadas em três categorias de granulometria (16, 40 e 60 mesh), assim como ocorreu com as partículas de madeira.



Figura 1. Toretas de Eucalyptus (A); partículas de Eucalyptus após trituração (B); Partículas de Eucalyptus após moagem, durante processo de peneiragem das partículas (C); fruto do pequi (D); casca do fruto do pequi durante secagem em estufa solar; partículas da casca do fruto do pequi após trituração e peneiragem (F).

O adesivo sintético acetato de polivinila (PVA) da marca TEK BOND Saint-Gobain foi obtido no comércio local e utilizado como base para a produção dos painéis aglomerados. A parafina líquida foi adquirida no comércio externo, enquanto a nanocelulose foi obtida através da doação da empresa Suzano Papel e Celulose.

Produção e caracterização dos adesivos e dos painéis aglomerados.

A caracterização do adesivo PVA puro e reforçado com nanocelulose foi determinada por meio da viscosidade em Copo Ford e teor de sólidos em estufa seguindo a norma ASTM-D 1582-60, (1994). O pHmetro de bancada foi realizado posteriormente. Para a caracterização da casca do fruto de pequi e da madeira de Eucalyptus foram realizadas as análises físicas por meio do teor de umidade e densidade básica e/ou a granel e as análises químicas por meio da determinação do teor de umidade, dos teores de extrativos totais, lignina total, holocelulose e teor de cinzas (WASTOWSKI, 2018).

A madeira de Eucalyptus spp. e as cascas do fruto de pequi foram secas e processadas até a obtenção de partículas do tipo “sliver”. Para a produção dos painéis aglomerados foram utilizadas proporções de 50% de partículas de Eucalyptus e 50% de partículas de casca de pequi. O primeiro tratamento (T1) é referente ao painel testemunha, sendo os componentes destas as partículas de Eucalyptus, adesivo PVA e parafina. Para o segundo tratamento (T2), utilizou-se as partículas de Eucalyptus, pequi, adesivo PVA e parafina. No terceiro tratamento (T3) foram adicionadas as partículas de Eucalyptus, de

pequi, a nanocelulose em solução aquosa a 96,65% de umidade (cujo peso úmido foi de 257 g, que equivale a 7,5 g da nanocelulose seca) e parafina. Para o quarto tratamento (T4) foram utilizadas as partículas de Eucalyptus e pequi, bem como a parafina nas proporções já pré-estabelecidas, no entanto, a nanocelulose foi liofilizada, ou seja, utilizou-se o produto resultante do processo de remoção da água por sublimação (Figura 2).



Figura 2. Nanocelulose microfibrilada de baixo refino (A); Liofilização da nanocelulose (B); nanocelulose após processo de liofilização.

Em relação às concentrações, o adesivo PVA comercial foi utilizado em proporção definida nos pré-testes, a parafina foi correspondente a 2% em relação à massa total do painel e a nanocelulose para reforço equivalente a 2,5%, conforme especificado na tabela 1.

Tabela 1. Delineamento experimental do estudo.

Qtd - Painéis		Madeira			
(g)	Pequi				
(g)	PVA (g)	Nanocelulose (g)		Parafina (g)	
T1 - 6	500	x	300	x	10
T2 - 6	300	300	300	x	12
T3 - 6	300	300	300	257	12
T4 - 6	300	300	300	7,5	12

Para a prensagem dos painéis, foi utilizada prensa hidráulica com capacidade para 15 toneladas, utilizando-se pressão específica de 6 Kgf.cm⁻², tempo de pré-prensagem de 10 minutos e prensagem por 24 horas em temperatura ambiente. Após a prensagem, os painéis aglomerados foram expostos à temperatura ambiente até a cura total do adesivo e até atingirem o teor de umidade de equilíbrio. Ao término deste período, foram confeccionados os corpos de prova destinados aos ensaios de densidade aparente do painel, teor de umidade, absorção de água, inchamento e compressão axial (Figura 3), conforme as recomendações da norma NBR 14810-2 (ABNT, 2018).

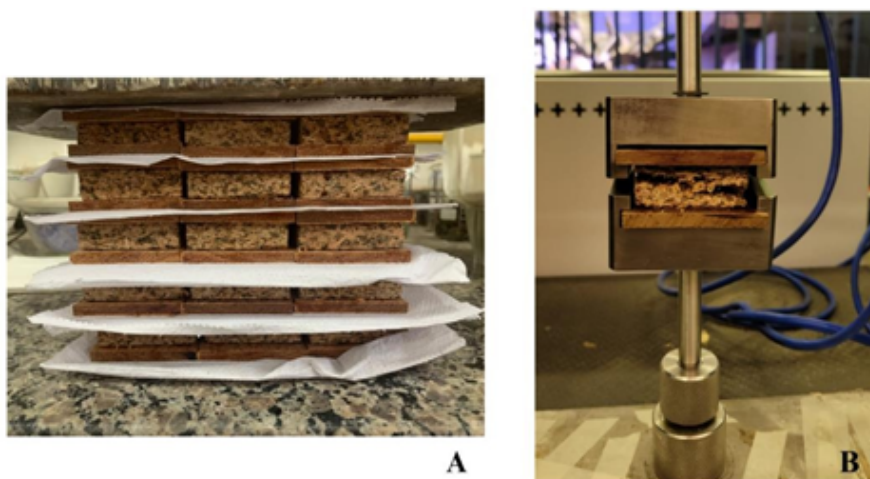


Figura 3. Amostras para análise de tração (A); Análise de tração em corpo de prova de painel (B).

Com a finalidade de produzir dados mais precisos aos usos desses materiais também foi realizado um teste de isolamento acústico. Pequenas caixas foram produzidas com os painéis nas dimensões 15cm x 10cm x 7cm sendo que a espessura desses painéis são de 1cm. Nessas caixas foi colocado um celular emitindo ruído rosa. Utilizando um dosímetro de ruído modelo DOS-600 foi medido o efeito sonoro em decibéis que o celular emitia dentro da caixa fechada e aberta (Figura 4).



Figura 4. Painéis de madeira em caixas para teste de isolamento acústico (A); Análise de isolamento acústico em caixa de painel de Eucalyptus.

Delineamento Estatístico

Para a densidade aparente, teor de umidade, absorção, inchamento e resistência à tração o delineamento experimental foi inteiramente casualizado simples diferenciando entre os tratamentos dos painéis : Eucalyptus + adesivo PVA puro (T1), Eucalyptus + casca de pequi + adesivo PVA puro (T2), Eucalyptus + casca de pequi + PVA com adição de nanocelulose em solução aquosa (T3) e Eucalyptus + casca de pequi + PVA com adição de nanocelulose liofilizada (T4).

Já para a propriedade de isolamento acústico o delineamento foi em fatorial 4×2 , ou seja, quatro diferentes tipos de tratamentos dos painéis em dois tipos de ambiente (aberto ou fechado).

Foi realizado o teste de normalidade de Shapiro-Wilk, seguida da análise de variâncias (ANOVA) no programa Statgraphics. Os testes de Tukey para comparação das médias ao nível de 5% de significância foram realizados por meio do programa estatístico Sisvar. A análise de correlação linear de Person (r) foi realizada no programa Rbio e a Análise de Componentes Principais (PCA) para agrupamento dos tratamentos foi realizado no programa Past 4.13.

DADOS E DISCUSSÃO

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

Na Tabela 1 estão os valores correspondentes aos parâmetros de absorção (ABS), inchamento (INCH), teor de umidade (TU), densidade aparente (Da) e resistência a tração (fT) dos painéis de Eucalyptus, Eucalyptus + pequi (E + P), Eucalyptus + pequi + nanocelulose (E + P + N) e Eucalyptus + pequi + nanocelulose liofilizada (E + P + NL). É possível observar que houve diferença significativa ao nível de 5% de significância para todos os tratamentos.

Tabela 2. Valores médios das propriedades de absorção, inchamento, teor de umidade, densidade aparente e resistência à tração dos painéis aglomerados em suas respectivas composições.

Tratamentos (Painéis)	ABS (%)	INCH (%)	TU (%)	Da (g/cm ³)	fT (MPa)
<i>Eucalyptus</i>	95,26 b (11,79)	36,51 c (10,03)	10,42 c (1,66)	0,35 c (2,38)	0,06 c (23,32)
<i>Eucalyptus</i> + pequi	96,26 b (7,48)	47,58 b (5,12)	10,54 c (3,58)	0,70 a (4,92)	0,54 a (15,69)
<i>Eucalyptus</i> + pequi + nanocelulose	110,88 a (9,45)	52,70 a (4,76)	10,98 b (2,81)	0,63 b (4,02)	0,53 b (19,46)
<i>Eucalyptus</i> + pequi + nanocelulose liofilizada	84,15 c (7,22)	46,98 b (7,02)	12,28 a (2,87)	0,71 a (2,61)	0,53 a (30,04)
Pr>Fc	*	*	*	*	*

Nota: As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (5%). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($01 \leq p < 0.05$). Os valores entre parênteses correspondem respectivamente coeficiente de variação (%).

Conforme observado, as maiores médias encontradas para a propriedade de absorção foram referentes aos painéis compostos por Eucalyptus + pequi + nanocelulose (110,88%), seguidos dos painéis compostos por Eucalyptus + pequi (96,26%) e Eucalyptus (95,26%), sendo estes dois últimos iguais estatisticamente. Os painéis compostos por Eucalyptus + pequi + nanocelulose liofilizada obtiveram menores valores de absorção dentre todos os demais. Em relação ao inchamento, observa-se que as menores médias encontradas foram para os painéis de Eucalyptus (36,51%), Eucalyptus + pequi + nanocelulose (46,98%) e Eucalyptus + pequi (47,58%). O painel de

Eucalyptus + pequi + nanocelulose apresentou a maior média encontrada para a propriedade de inchamento (56,70%).

A baixa agregação entre as partículas de Eucalyptus durante o processo de produção dos painéis acarretou em maior absorção da água. Entretanto, foi observado que os valores de inchamento em espessura destes painéis foram consideravelmente inferiores aos demais. Esse fenômeno ocorreu devido a ocupação da água nos espaços vazios presentes na estrutura devido à baixa compactação.

A mesma situação pôde ser observada nos painéis de Eucalyptus + pequi, que apresentou elevada absorção e inchamento devido ao alto teor de carboidratos (50,94%) presentes na casca do fruto do pequi (Vieira et al., 2018). Os painéis de Eucalyptus + pequi + nanocelulose apresentaram alta absorção e inchamento devido ao alto teor de umidade presente na nanocelulose que prejudicou as propriedades do adesivo PVA, uma vez que o mesmo é altamente solúvel em água.

O teor de umidade de todos os painéis esteve abaixo de 12%, valores estes dentro do recomendado pela norma NBR 14810-2 (ABNT, 2018), que estabelece teores ideais de umidade entre 5% e 13% para painéis aglomerados.

A densidade aparente dos painéis compostos por E+P, E+P+N e E+P+NL foram, respectivamente, 0,70, 0,63 e 0,71 g/cm³. A norma NBR 14810 (ABNT, 2006) classifica painéis entre 0,55 e 0,75 g/cm² como média densidade, o que pode ser observado nos valores encontrados, com exceção do painel de Eucalyptus, que obteve densidade inferior à 0,55 g/cm², ou seja, baixa densidade. A densidade aparente possui forte influência em todas as demais propriedades físicas de painéis aglomerados e está relacionado à compactação do painel. Protásio et al. (2012) afirma que há uma relação “perfeita e proporcional” entre a densidade e a compactação, já que a compactação nada mais é do

que a razão entre o cálculo da densidade básica da madeira e a densidade aparente do painel.

A resistência à tração dos painéis compostos com Eucalyptus e pequi apresentou maior resistência dentre os demais, com 0,54 MPa. Os painéis compostos por E+P+N e E+P+NL cujas médias foram de 0,53 MPa, foram iguais estatisticamente. O painel composto por Eucalyptus demonstrou a menor resistência, com 0,06 MPa.

O menor valor de resistência a tração encontrado foi para os painéis de Eucalyptus, e ocorreram devido à baixa agregação das partículas durante o processo de prensagem, o que causou maior porosidade e diminuiu a sua densidade aparente, reduzindo sua resistência. Por outro lado, todos os demais painéis compostos por pequi, nanocelulose e nanocelulose liofilizada apresentaram maior resistência como consequência da elevada densidade aparente devido à alta compactação e agregação das partículas.

A resistência mecânica a tração é de suma importância no que tange aos diversos usos dos painéis aglomerados. Painéis com maior resistência são comumente destinados para produção de revestimento de interiores, móveis e acabamentos. Dito isto, o tratamento de painéis de Eucalyptus e pequi com reforço da nanocelulose liofilizada aumentou a resistência, tornando-os recomendados para estes fins. Cabe salientar que a utilização do adesivo PVA restringe a utilização de painéis produzidos a base deste para locais externos e/ou com alta umidade, uma vez que a sua composição o torna altamente solúvel em água.

Na Tabela 3 estão os valores referentes à análise fatorial da propriedade de isolamento acústico dos painéis em suas diferentes composições (Eucalyptus, Eucalyptus + pequi, Eucalyptus + pequi + nanocelulose e Eucalyptus + pequi + nanocelulose liofilizada), tanto em

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

ambiente aberto quanto em ambiente fechado. Nota-se que houve interação entre os fatores (diferentes painéis e diferentes ambientes).

Tabela 3. Análise fatorial da propriedade de isolamento acústico dos painéis de Eucalyptus, Eucalyptus + Pequi, Eucalyptus + Pequi + Nanocelulose e Eucalyptus + Pequi + Nanocelulose liofilizada.

Isolamento acústico da caixa	<i>Eucalyptus</i>	<i>Eucalyptus + pequi</i>	<i>Eucalyptus + pequi + nanocelulose</i>	<i>Eucalyptus + pequi + nanocelulose liofilizada</i>	Pr>F_c da interação
Aberta (dB)	78,05 dA (0,08)	81,51 cA (0,07)	83,21 bA (0,09)	85,32 aA (0,15)	*
Fechada (dB)	74,82 aB (0,11)	68,09 dB (0,17)	69,81 cB (0,43)	70,66 bB (0,24)	*

Nota: As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey (5%). * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($01 \leq p < 0.05$). Os valores entre parênteses correspondem respectivamente coeficiente de variação (%).

O painel composto por Eucalyptus demonstrou menor reverberação do som em ambiente aberto (78,05 dB) e menor isolamento acústico em ambiente fechado (74,82 dB). Em contrapartida, os painéis reforçados com nanocelulose liofilizada obtiveram melhor desempenho, uma vez que, em ambiente aberto, houve maior reverberação (85,32 dB) e em ambiente fechado, maior isolamento de modo proporcional ao ambiente aberto (70,66 dB).

De acordo com Vieira et al. (2024), há uma influência positiva da densidade aparente no isolamento acústico, de forma que, quanto maior a densidade, maior o bloqueio ou dispersão do som a depender do ambiente. Isto pode ser reafirmado neste estudo, já que todos os painéis com densidade média apresentaram melhor isolamento acústico.

Na figura 5 está a correlação entre os parâmetros de absorção (ABS), inchamento (INCH), densidade aparente (Da), resistência a tração (JT) e decibéis (dB) dos painéis de Eucalyptus, Eucalyptus + pequi, Eucalyptus + pequi + nanocelulose e Eucalyptus + pequi + nanocelulose

lioofilizada. Observa-se que houve correlação fortemente significativa e inversamente proporcional entre os parâmetros de densidade aparente e decibéis (-0,9), o que significa que quanto maior a densidade aparente, menores os valores de decibéis, ou seja, há um melhor desempenho no isolamento acústico.

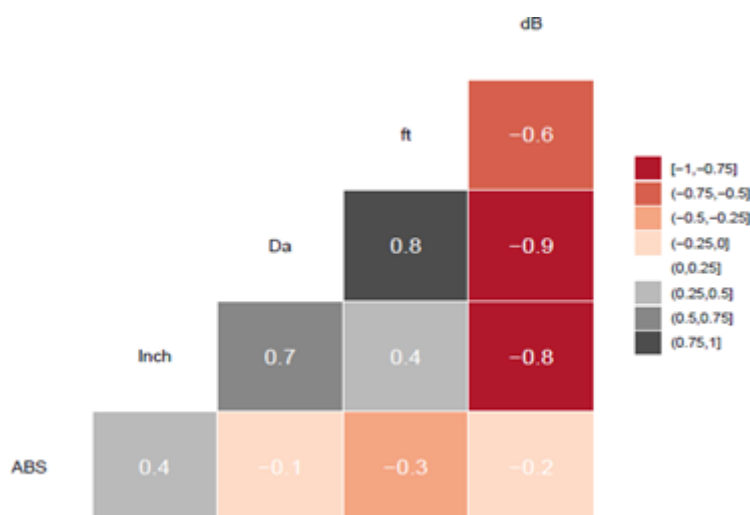


Figura 5. Correlação entre as propriedades de absorção, inchamento, densidade aparente, resistência à tração e isolamento acústico.

A densidade aparente e resistência a tração demonstraram uma correlação diretamente proporcional (0,8), portanto maiores valores de densidade ocasionam maior resistência dos painéis aglomerados. O inchaço e a densidade aparente também apresentaram uma correlação positiva (0,7). Trianoski et al. (2014) afirma que uma possível razão para essa proporcionalidade se deve ao fato de que a razão da compactação é mais elevada em painéis de maior densidade, causando maior liberação das tensões de prensagem devido a imersão em água.

Na figura 6 está a Análise de Componentes Principais (PCA) dos parâmetros físicos dos painéis de Eucalyptus, Eucalyptus + pequi, Eucalyptus + pequi + nanocelulose e Eucalyptus + pequi + nanocelulose liofilizada. O eixo um explicou 68,7% da variância encontrada para os

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

parâmetros analisados, sendo estes a absorção e o inchamento. O segundo eixo representou 27,82% destas variáveis, cuja concentração esteve nas análises de densidade aparente (Da) e resistência a tração (fc).

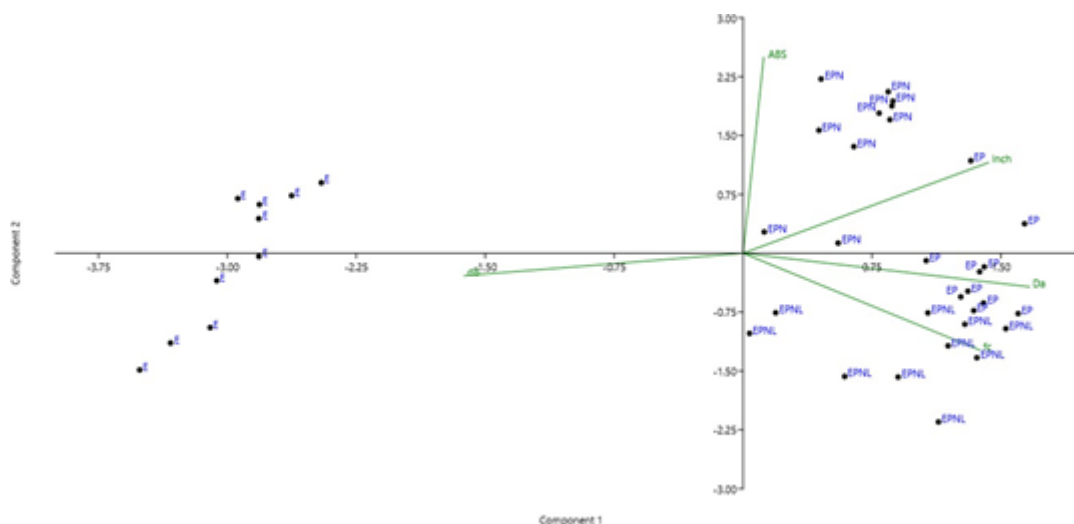


Figura 6. Análise de Componentes Principais (PCA) dos parâmetros físicos de absorção (ABS), inchamento (INCH), densidade aparente (Da) e decibéis (dB), e mecânico resistência a tração (fc) dos painéis de Eucalyptus (E), Eucalyptus + pequi (EP), Eucalyptus + pequi + nanocelulose (EPN) e Eucalyptus + pequi + nanocelulose liofilizada (EPNL).

Nota-se que no primeiro quadrante os tratamentos de Eucalyptus + pequi e Eucalyptus + pequi + nanocelulose liofilizada apresentaram maiores valores para o parâmetro de densidade aparente e resistência, com maior recorrência nos painéis compostos por E+P+NL.

A liofilização da nanocelulose retira a umidade livre presente na solução e aproxima as fibras nanométricas, o que contribui para maior adesão entre as partículas da nanocelulose ao adesivo e às partículas de pequi e Eucalyptus.

O painel de Eucalyptus + pequi apresentou maior inchamento dentre os demais, enquanto o painel de Eucalyptus + pequi + nanocelulose

obteve maior absorção. Uma razão para isto foi o elevado teor de umidade da nanocelulose (96,65%), que afetou negativamente as propriedades do PVA, diminuindo sua viscosidade e reduzindo sua capacidade adesiva.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os painéis de Eucalyptus + pequi apresentaram maior absorção e inchamento dentre os demais devido ao elevado teor de carboidratos presentes na casca do fruto do pequi. A utilização da nanocelulose em solução aquosa ocasionou baixa performance dos parâmetros de inchamento e absorção.

A utilização da nanocelulose liofilizada nos painéis de E + P + NL diminuiu os valores no parâmetro de absorção observada nos painéis de E + P, portanto houve melhora nessa característica. Além disso, houve aumento da densidade aparente nos painéis E + P + NL, constância na resistência à tração e melhor desempenho no isolamento acústico.

Para o estudo em questão, os painéis de Eucalyptus + pequi + Nanocelulose Liofilizada apresentaram melhores características para a produção de painéis para fins comerciais. Para estudos posteriores, são indicadas maiores concentrações de nanocelulose liofilizada para melhor desempenho nas características físicas e mecânicas de painéis de Eucalyptus e pequi.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) – ASTM-D 1582-60. Annual book of Standards: Adhesives. Washington, D. C, v. 15.06, 608 p., 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14810 – 2: chapas de madeira aglomerada – parte 2 – requisitos. Rio Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14810-2 - Painéis de partículas de media densidade: Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio (Medium density particleboards: Part 2: Requirements and testing methods). Rio de Janeiro, Brasil, 2018.

FERREIRA, J. C. Sínteses de adesivos de ureia-formaldeído com adição de lignina Kraft e celulose nanocristalina. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2017.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. Relatório Anual 2022. São Paulo, 2023.

MATOS, C. D. C.; MENDES, A. D. R.; COLEN, F.; SANTOS, L. D. T.; FIGUEIREDO, L. S.; MARTINS, E. R. Potencial fitotóxico do biofertilizante da casca de pequi (*Caryocar brasiliense* Comb.). Revista Cultura Agronômica, v. 27, n. 1, p. 160-172, 2018.

PROTÁSIO, T. D. P.; GUIMARÃES, J. B.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES, B. M. R. Correlações entre as propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados de diferentes espécies de *Eucalyptus*. Floresta e Ambiente, v. 19, n. 2, p. 123-132, 2012.

SANTIAGO, N. M.; REIS, E. A. P. Nanocelulose: do entendimento as aplicações. Encontro Toledo de Iniciação Científica. Toledo Prudente Centro Universitário, 2021.

TRIANOSKI, R; IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. Avaliação de painéis aglomerados de *Toona ciliata* produzidos com diferentes densidades e teores de resina. Madera y bosques, v. 20, n. 3, p. 49-58, 2014.

VIEIRA, G. H. C.; MORAES, T. P. E.; SARAIVA, K. F.; MARCHESAN, R. LIGNINA COMO AGENTE DE REFORÇO EM PAINÉIS PRODUZIDOS COM *Eucalyptus* spp. E CASCA DE *Caryocar brasiliense* (PEQUI). DESAFIOS-Revista Interdisciplinar da Universidade Federal do Tocantins, v. 11, n. 3, 2024.

VIEIRA, R. F.; CAMILLO, J.; CORADIN, L. Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial: plantas para o futuro: Região Centro-Oeste. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, n. 44, 1.160 p.

WASTOWSKI, A. D. Química da madeira. Editora Interciência, Ed. 1, p. 566, 2018

FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil.

Capítulo 22

RESPOSTAS FITOTÉCNICAS DA CULTURA DO MILHO SOB INOCULAÇÃO DE BACTÉRIAS SOLUBILIZADORAS DE FOSFATOS EM CAMPO

Carlos Eduardo Silveira Costa Filho¹

Susana Cristine Siebeneichler²

RESUMO

No Cerrado, a disponibilidade de fósforo (P) é baixa, pelos solos serem muito intemperizados e terem alta capacidade de fixar o P nos colóides, resultando no acúmulo de P no solo inacessível para as plantas (legacy P). Um dos meios para acessar o P fixado é o uso de bactérias solubilizadoras de P (BSP), as quais atuam como bioestimulantes. O objetivo do experimento foi avaliar as respostas fitotécnicas do milho, utilizando a inoculação de BSP associadas a doses P, em campo. Conduzido no assentamento "Vale Verde", com o delineamento em blocos casualizados em faixas, esquema fatorial (2X3). O primeiro fator foi a presença ou ausência de inoculante e o segundo fator as doses de P: 0, 50 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (MAP). O inoculante utilizado foi a *Bacillus subtilis* (CEPA Bs10) selecionada na UFT, com concentração de 1x10⁸ UFC ml⁻¹. Foram avaliados a biomassa da planta e a produtividade do milho e fracionamentos de P no solo. Os resultados foram avaliados por ANOVA e as médias comparadas por Tukey ($p \leq 0,05$). Não houve efeito significativo na alocação de biomassa. Esta resposta refletiu na produtividade de grãos, os tratamentos com BSP se destacam com aumento de 7,41%. A inoculação tendeu a um aumento de produtividade do milho em campo e promoveu a exploração do legacy P, tornando-as essenciais para uma agricultura mais sustentável.

Palavras-chave: Cerrado; Legacy P; Sustentável.

¹ Graduando em Agronomia, Pibic/UFT, Universidade Federal do Tocantins, carlos.silveira@mail.uft.edu.br

² Doutora em Produção Vegetal, curso de Agronomia, Universidade Federal do Tocantins, susana@mail.uft.edu.br

INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é o segundo macronutriente com a maior demanda entre as plantas, ou seja, é um elemento indispensável no desenvolvimento das culturas e ao mesmo tempo é um fator limitante na produção agrícola (WEIL; BRADY, 2017). Tal nutriente está sendo alvo de discussão em relação à sua disponibilidade nos solos do cerrado, os quais são altamente intemperizados, ricos em óxidos de Fe e Al e argila de baixa atividade (1:1). Com isso, os solos possuem baixa taxa de fertilidade e alta capacidade de fixar o P nos colóides do solo (cargas superficiais), sequenciando a baixa biodisponibilidade do nutriente para a cultura (WEIL; BRADY, 2017).

O método comum entre os agricultores para corrigir a deficiência de P no solo é a aplicação de adubação fosfatada, para haver maior disponibilidade de fósforo e manter o nível para os ciclos seguintes de safra/safrinha. Contudo, essa técnica possui sérios efeitos colaterais, como alto custo de investimento e desequilíbrio ambiental – eutrofização e hipóxia nos reservatórios hídricos (MATTO et al., 2012). Na maior parte das vezes que o produtor aplica adubação fosfatada, maior parte do que foi aplicado é retido no solo e não é disponibilizado para a lavoura, conhecido como P-residual ou Legacy P (GATIBONI et al., 2021). Para uso eficiente, na cultura do milho é menos de 60% da adubação de P será utilizada e de contato para a planta (PAVINATO et al., 2021).

Nas culturas anuais – plantas em geral também – são dependentes do fósforo para o seu desenvolvimento, visto que o nutriente está presente na formação de ATP, DNA, RNA, membrana celular e em processos metabólicos da planta, tais como fotossíntese e respiração celular (BUCHANAN; GRUISSEM; JONES, 2015).

O milho (*Zea mays*) é a segunda cultura mais plantada no Brasil, com o valor de produção de \$137,7 milhões de reais em 2022, tendo apenas soja à frente (IBGE, 2022). Cultivado desde o começo da história do país, o milho era plantado pelas tribos indígenas, o que foi repassado para frente ao decorrer do tempo, tornando o milho como um dos ingredientes principais na culinária brasileira (SENAR, 2016). Não só isso, há uma importância significativa do uso do milho como insumo para produção de aves e suínos, juntamente com a estratégia de segurança alimentar da sociedade brasileira com o passar das décadas (SENAR, 2016). Aproximadamente 77% da área plantada e 92% de produção de milho encontram-se nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, com a região Sul em destaque, 42% de área e 53% de produção da cultura (DUARTE; MATTOSO; GARCIA, 2021).

Para reverter a prática de adubação fosfatada em excesso, deve-se buscar meios de exploração acessíveis o P retido no solo (SOLTANGHEISI et al., 2020). Um exemplo é o uso de bactérias solubilizadoras de fósforo (BSP), que podem atuar como bioestimulantes, os quais são seres que possuem a habilidade de converter o P insolúvel do solo em solúvel para as plantas poderem acessar e absorver (OWEN et al., 2015). Portanto, há poucos estudos que tratam sobre a redução ou não da adubação fosfatada, juntamente os impactos no crescimento e desenvolvimento das culturas comercializadas, como o milho (*Zea mays*) em condições que exploram o legado de P no uso de inoculantes (DOYDORA et al., 2020).

Pelos estudos já realizados acredita-se que as BSP são capazes de favorecer a recuperação do P-residual, com a possível redução do uso de adubação fosfatada nos solos da região sul do Tocantins. Assim, o objetivo do experimento é determinar o efeito do uso das BSP no cultivar de milho MG711 (Morgan sementes) por avaliações morfofisiológicas e fitotécnicas, em campo, para visualizar se a

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

inoculação atenua os efeitos deletérios da redução/supressão de fertilizantes fosfatados.

MÉTODO E MATERIAIS

O experimento foi conduzido em campo, no assentamento "Vale Verde" (11°52'56,0" S e 48°59'17,3" W), próximo a Universidade Federal do Tocantins, UFT, com o apoio da Instituição Governamental de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Tocantins (Ruraltins). O clima regional é tipo B1WA "a" úmido com moderada deficiência hídrica, com base na classificação climática de Thornthwaite. A temperatura média anual é 29,5 °C e a precipitação anual de 1430 mm, caracterizando o verão chuvoso, inverno seco e déficit hídrico elevado no período de maio-setembro (SEPLAN, 2012).

Foram coletadas amostras de solo em duas profundidades distintas: 0-10 cm e 10-20 cm. Tais amostras foram enviadas para o Laboratório de Solos (LabSolo-UFT) e, com base nas análises feitas no laboratório, foi produzida a tabela seguinte (Tabela 1).

Tabela 1. Análise química e granulométrica do solo nas profundidades 0-10cm e 10-20cm proveniente da área experimental, no assentamento Vale Verde, localizado no município de Gurupi - Tocantins, 2024 .

Prof. cm	Ca ²⁺	Al ³⁺	H + Al	Mg ²⁺	CTCT	CTCt	V	
	cmolc dm ⁻³							%
0-10	0,69	0,09	0,02	0,40	1,42	1,49	98,83	
10-20	0,65	0,13	0,07	0,39	1,44	1,50	95,40	
Prof. cm	P	K	S	MO	pH	Textura (g	kg ⁻¹	
	mg dm ⁻³					dag	kg ⁻¹	
	Silt	Clay						
0-10	3,97	49,18	6,28	1,92	5,37	609	195	195
10-20	4,90	46,91	6,14	2,06	5,07	778	84	138

CTCT: Capacidade de troca catiônica total; CTCt: Capacidade de troca catiônica efetiva; V: Saturação por base; MO: Matéria orgânica.

Delineamento experimental foi em blocos casualizados em faixas, com esquema fatorial (2X3), sendo o primeiro fator a presença ou ausência de inoculante BSP, o qual foi colocado nas faixas e o segundo fator as doses de fósforo, aleatorizadas em blocos em cada faixa. A BSP utilizada em específico foi a bactéria *Bacillus subtilis* (CEPA Bs10), selecionada na UFT pelo Laboratório de Microbiologia e Biotecnologia do Solo – Microbio, com concentração de 1×10^8 UFC ml⁻¹. Enquanto o segundo fator é composto por 0, 50 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, por meio de fosfato monoamônico (MAP, 48% de P₂O₅), os quais simulam 0, 50 e 100% da dose ideal para a cultura do milho em médio nível tecnológico e com bom nível de P no solo (20,1-30 mg dm⁻³), dito por Ribeiro, Guimarães e Alvarez (1999). A recomendação de calagem, gessagem e adubação foi determinada pela interpretação da análise de solo da área de cultivo (RIBEIRO et al., 1999), seguindo a análise da tabela anterior. A cobertura de adubação foi composta por uréia (44% de N fonte) e cloreto de potássio (58% de K₂ O fonte).

A data de plantio foi no dia 31/01, em que o cultivar utilizado foi o MG711, da empresa Morgan Sementes, seguido com a adubação de Ureia, KCl e MAP, comentados anteriormente. O experimento teve uma área total de 700m², dividida em 18 parcelas, onde em cada parcela foram plantadas 5 linhas, com espaçamento de 0,7m, para gerar a população desejada de 33.333 plantas/ha.

Durante a condução do experimento, foram feitas duas coberturas de adubação após o plantio, sendo aplicação de Ureia e Cloreto de Potássio, com a recomendação de 60kg ha⁻¹ e 40kg ha⁻¹, respectivamente, em 17 DAP e 37 DAP (dias após o plantio). Em relação ao controle de pragas, foi aplicado o uso de inseticida biológico (*Beauveria bassiana*) para o manejo aos insetos pragas, como

percevejo gaúcho (*Leptoglossus zonatus*), lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) e mosca branca (*Bemisia tabaci*). Enquanto no controle das plantas infestantes, foi utilizado o Glifosato convencional, para combater corda de viola (*Digitaria* sp.), capim colchão (*Digitaria horizontalis*) e trapoeraba (*Commelina* spp.).

Foi realizada a amostragem manual das plantas (VT) para determinar as variáveis frescas, como colmo, folha, pendão e espiga na segunda linha de cada parcela, coletando quatro plantas que eram homogêneas com as demais plantas da parcela. Foram pesadas frescas e colocadas na estufa a 65° C por 72 horas, para determinar a umidade e a estimativa de matéria seca. Nessas mesmas plantas, foram amostradas duas raízes e coletados solos rizosféricos para determinar a atividade da fosfatase ácida e o fracionamento químico de fósforo no solo. Depois foi feita a colheita do milho (R5), em que foram coletadas espigas de 6 plantas de cada parcela, sendo três da terceira e quarta linha cada. Como mencionado, foi realizado no laboratório avaliação de umidade, utilizando o método da estufa a 105°C por 24 horas, calculando a umidade $U\% = [(\text{Peso úmido} - \text{Peso seco}) / \text{Peso Úmido} \cdot 100]$.

Foram analisadas as seguintes variáveis no experimento: número de fileiras por espiga; Número de grãos por espiga; Número de grãos por fileira; Comprimento de espiga (cm); Diâmetro de espiga (mm); Massa de 1000 grãos (g); Biomassa (kg); Produtividade de grãos (kg ha⁻¹), com a correção de umidade 13%, seguindo a norma brasileira; Massa de colmo (g); Massa de folha; Massa de pendão e espiga (g); Peso foliar específico (g/cm²).

Todas as variáveis foram analisadas e avaliadas por ANOVA e as médias pelo teste Tukey ($p \leq 0,05$), executados através o R studio, versão 4.1.0 (TEAM, 2023), com a utilização dos pacotes ExpDes.pt (FERREIRA;

CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2021) e ggplot2 (WICKHAM et al., 2022), respectivamente.

DADOS E DISCUSSÃO

Nas variáveis classificadas como “componentes de produção” (listadas na tabela 2), de modo geral, não houveram diferenças significativas e nem interações entre os fatores, tanto com a presença e ausência de BSP, quanto nas doses de P. No entanto, vale ressaltar que as parcelas na dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ obtiveram valores superiores de modo geral aos demais nesse segmento, resultados os quais corroboram com o estudo feito por Carvalho (2022) onde foi visto superioridade nos valores das variáveis com 100% da recomendação de P₂O₅. Enquanto para as variáveis “Comprimento de espiga” e “Massa de 1000 grãos”, na dose de 0 kg ha⁻¹ de P tiveram resultados com um incremento médio de 3,75% e 4,62%, respectivamente, em comparação com as outras doses de fósforo.

Nas variáveis classificadas como “produtividade” (Tabela 3), é mister destacar o seus aumentos com o uso da BSP - apesar de não ter havido diferença significativa - gerou um acréscimo de 7,41%, em que esse mesmo resultado foi visto no trabalho executado por Barbosa e Gentil (2022), no qual o inoculante teve uma resposta não negativa. Isso pode ser reflexo do aumento da massa dos órgãos reprodutores da cultura, pendão e espiga, os quais obtiveram o aumento de 6,95% de suas massas. Enquanto nas doses de P, a dose de 50 kg ha⁻¹ apresentou incremento na produtividade e pendão mais espiga também, com os aumentos médios de 9,95% e 5,78%, respectivamente (Tabela 3).

Tabela 2. Resumo da análise de variância e comparação de médias para número de fileiras por espiga (FE), número de grãos por fileira (GF), número de grãos por espiga (GE), comprimento de espiga (CE),

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

diâmetro de espiga (DE) e massa de 1000 grãos (MG), de plantas de milho híbrido MG 711, Município de Gurupi/TO, 2024.

Inoculante	FE	GF	GE	CE (cm)	DE (mm)	MG (g)
Sem	15,52	33,20	515,37	16,75	49,56	300,47
Com	15,15	33,52	507,23	16,19	49,03	298,34
Dose P	FE	GF	GE	CE (cm)	DE (mm)	MG (g)
0	15,28	33,25	508,20	16,88	49,15	308,48
50	15,17	32,89	497,33	16,01	49,39	294,28
100	15,56	33,94	528,37	16,53	49,38	295,45

1-CV%

(faixa) 5,51 4,18 6,07 1,75 1,79 2,15

2-CV%

(geral) 5,02 7,94 7,10 8,86 2,40 5,13

Tabela 3. Resumo da análise de variância e comparação de médias para biomassa (BM), produtividade (PD), massa de colmo (MC), massa de folha (MF), massa de pendão e espiga (MPE) e peso foliar específico (PFE), de plantas de milho híbrido MG 711, Município de Gurupi/TO, 2024.

Inoculante	BM (kg)	PD (kg/ha)	MC (g)	MF (g)	MPE (g)
PFE (g/cm ²)					
Sem	2987,86	5240,71	48,41	29,26	22,33 0,37
Com	2954,76	5628,82	47,43	28,72	23,85 0,38
Dose P	BM (kg)	PD (kg/ha)	MC (g)	MF (g)	MPE (g)
PFE (g/cm ²)					
0	2972,98	5356,02	49,44	29,02	21,54 0,38
50	2910,23	5783,83	46,87	29,16	23,96 0,37
100	3030,71	5164,45	47,45	28,79	23,76 0,38

1-CV%

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

(faixa) 12,59 9,96 4,07 4,66 8,18 9,58

2-CV%

(geral) 8,68 15,43 6,59 6,83 14,04 11,08

Em relação ao fracionamento de fósforo no solo (figura 1A) com o uso de BSP teve um aumento de P inorgânico acessível para a planta, com o aumento médio de 88,89%, 55,56% e 57,14% nas doses de 0, 50 e 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente na ordem das doses. Isso mostra a eficiência que a *Bacillus subtilis* teve em converter o fósforo inorgânico não lábil em lábil, conseqüentemente tendo a variação de quanto exsudato (P orgânico) que as plantas excretam.

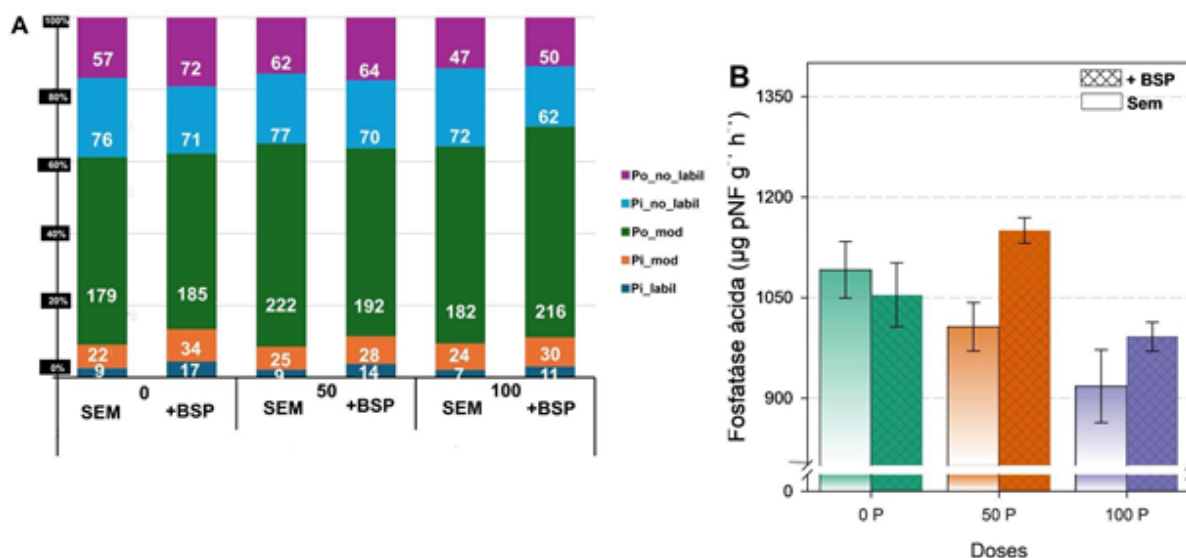
Enquanto na figura 1B, apresenta os resultados da análise de P disponível pelo métodos da fosfatase ácida, na qual a sua função é quantificar uma das formas de P que foi disponibilizado para a planta. Uma diferença significativa foi detectada na dose de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, em que a presença da BSP proporcionou um incremento significativo no P disponível detectado pelo método. Já na dose de 100 kg ha⁻¹ de P, foi observado um incremento da disponibilidade de P, mas esta não foi significativa em relação a ausência de BSP, provavelmente a ação das BSP tenha sido inibida ou não incentivada, pois nesta área tinha a recomendação ideal de adubação fosfatada, não tendo a necessidade da ação de terceiros para a planta acessar o fósforo. Tal resposta é comentada por Raymond et al. (2020), em que quando se tem teor ideal de P no solo, tanto a planta quanto o microorganismo aproveitam da situação que é favorável, não tendo que realizar a interação entre os dois (simbiose).

A resposta da disponibilidade de P no solo observadas na figura 1A e B, pode ter contribuído para o incremento de produtividade de milho, com a dose de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅. É essencial ter a continuidade do projeto para um segundo ano de execução e mais pesquisas relacionadas, pois promoverá mais a exploração de P e o aumento da

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

microbiota no solo, podendo gerar resultados mais satisfatórios quando se trata da sustentabilidade ambiental e econômica.

Figura 1. Fracionamentos de P no solo (A) e ação da enzima fosfatase ácida (B), do experimento executado no assentamento Vale Verde, localizado no município de Gurupi/TO, 2024



Po_no_labil: fósforo orgânico não lábil; Pi_no_labil: fósforo inorgânico não lábil; Po_mod: fósforo orgânico moderadamente lábil; Pi_mod: fósforo inorgânico moderadamente lábil; Pi_labil: fósforo inorgânico lábil.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O experimento mostrou que o uso BSP estimulou o acréscimo mínimo da produtividade do milho em campo e promoveu a eficiência da exploração de P em doses variadas no solo - legacy P - nos fracionamentos de P e na atividade da fosfatase ácida.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, D.; GENTIL, K. . Use of pseudomonas putida and pantoea agglomerans as phosphorus solubilizing bacteria in oxisol. Journal of Interdisciplinary Debates, [S. l.], v. 3, n. 04, p. 07-44, 2023.

BUCHANAN, B. B.; GRUISSEM, W.; JONES, R. L. Biochemistry and molecular biology of plants. 6. ed. Pondicherry: John Wiley & Sons, 2015. v. 1.

CARVALHO, P. H. G. Uso de bactérias para reduzir adubação fosfatada na cultura do milho no cerrado. Ilha Solteira: [s.n], 2022.

DOYDORA, S. et al. Accessing Legacy Phosphorus in Soils. Soil Systems, v. 4, n. 4, p. 74, 18 dez. 2020.

DUARTE; MATTOSE; GARCIA. Importância Socioeconômica do milho. 08 dez. 2021.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. ExpDes.pt: Pacote Experimental Designs (Portugues). CRANLavrasR package, , 2021.

GATIBONI, L. C. et al. Plant uptake of legacy phosphorus from soils without P fertilization. Nutrient Cycling in Agroecosystems, v. 119, n. 1, p. 139-151, 1 jan. 2021.

IBGE. Produção Agropecuária. Ranking-Agricultura-Valor da produção (2022). 2022.

MATTO et al. Sobrevivência em biopolímeros e potencial de bactérias solubilizadoras de fósforo in vitro. 2012.

OWEN et al. Use of commercial bio-inoculants to increase agricultural production through improved phosphorus acquisition. Fevereiro, 2015.

PAVINATO, P. S. et al. Acúmulo de fósforo no solo em áreas agrícolas no Brasil: diagnóstico atual e potencialidades futuras. Nutrição de Plantas Ciências e Tecnologia, v. 9, n. 1, p. 1-9, 2021.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

RAYMOND, N. S.; MUNÕZ, B. G.; BOM, F. J. T.; NYBROE, O.; JENSEN, L. S.; STÖVER, D. S. M.; OBERSON, A.; RICHARDSON, A. E. Phosphate-solubilising microorganisms for improved crop productivity: a critical assessment. 14 de setembro, 2020.

RIBEIRO, A. A. C.; GUIMARÃES, H. P. T. G.; ALVAREZ, V. H. Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5 aproximação. 5. Ed. Viçosa, MG: CFSEMG, 1999.

SENAR. Milho é uma das principais fontes de alimento do brasileiro, com importância estratégica nas exportações do agronegócio. 24 de maio, 2016.

SEPLAN. Atlas do Tocantins: Subsídios ao planejamento da gestão territorial. Diretoria de Pesquisa e Informações Econômicas, p. 49, 2012. SOLTANGHEISI, A. et al. Cover Cropping May Alter Legacy Phosphorus Dynamics Under Long-Term Fertilizer Addition, 2020.

TEAM, R. C. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing Vienna, Austria CRAN, , 2023. WEIL, R. R.; BRADY, N. C. The nature and properties of soils. 15. ed. Columbus: Pearson , 2017. v. 1.

WICKHAM, H. et al. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. New York Springer-Verlag, , 2022.

FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Universidade Federal do Tocantins, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil e agradecimentos a FAPT/SEAGRO pelo financiamento da pesquisa (Processo Nº 2022/20301/000018).

Capítulo 23

PRODUÇÃO E IMOBILIZAÇÃO DE CÉLULAS ÍNTEGRAS DE *Aspergillus oryzae* IPT-301 EM BUCHA VEGETAL E SUA APLICAÇÃO EM REATOR DE LEITO FIXO (PBR) VISANDO A PRODUÇÃO DE FRUTO- OLIGOSSACARÍDEOS

Kauã Marques de Oliveira¹

Michelle da Cunha Abreu Xavier²

Sergio Andres Villalba Morales³

RESUMO

Os fruto-oligossacarídeos (FOS) correspondem a uma importante classe de prebióticos que apresentam diversos efeitos benéficos ao consumidor e propriedades tecnológicas adequadas para aplicação em diversos produtos alimentícios. Diante disso, o objetivo deste trabalho foi estudar a imobilização de células íntegras de *Aspergillus oryzae* IPT-301 em bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) e avaliar seu desempenho na produção de FOS em um reator de leito fixo (PBR) em fluxo contínuo. A bucha vegetal foi pré-tratada e utilizada como suporte para o crescimento das células do fungo, que foram cultivadas em meio sintético com crescimento de biomassa por bucha vegetal de 0,576 g. A atividade de transfrutoseilação foi determinada a partir da utilização do meio reacional com solução de sacarose a 63,6 (m/v) % a 50 °C, pH 5,5 e 190 rpm. Para o processo contínuo em PBR, em meio reacional com temperatura de 50 °C, utilizado a vazão de 1,0 mL.min⁻¹, e massa do leito biocatalítico nos perfis de atividade de transfrutoseilação. O sistema apresentou uma atividade máxima de 14.323 U/g após 120 minutos de reação, demonstrando eficiência na síntese de FOS. A imobilização das células em bucha vegetal proporcionou estabilidade operacional ao longo do ensaio. A principal vantagem observada foi a retenção do biocatalisador, o que contribui para a viabilidade econômica e industrial do processo. Conclui-se que o processo desenvolvido, empregando biomassa imobilizada em bucha vegetal como recheio do reator de leito fixo, é um potencial processo para implementação industrial da produção de fruto-oligossacarídeos.

Palavras-chave: Enzima, Frutooligossacarídeos, Reator de leito fixo (PBR).

¹ Graduando em Engenharia de Alimentos, Pibiti/CNPq, Universidade Federal do Tocantins, marciel.oliveira@mail.uft.edu.br.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

¹Doutora em Engenharia Química, Universidade Federal do Tocantins, Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Tocantins, michellecox@mail.uft.edu.br.

³Doutor em Engenharia Química, Universidade Federal do Tocantins, Curso de Engenharia de Alimentos, sergio.morales@mail.uft.edu.br.

INTRODUÇÃO

Os fruto-oligossacarídeos (FOS) ou oligossacarídeos pertencem ao grupo dos frutanos, que podem ser encontrados naturalmente em produtos de origem natural. Como não possuem sabores indesejáveis e não alteram a viscosidade dos produtos, diferentemente de outras fibras, possibilitam o desenvolvimento de alimentos ricos em fibras, semelhantes aos originais. Os FOS estimulam o crescimento de probióticos benéficos, como *Lactobacillus acidophilus* e *Bifidobacterium bifidum*, no trato gastrointestinal. Esse efeito prebiótico contribui para a saúde intestinal, fortalecendo a microbiota e favorecendo uma digestão adequada. Além disso, a capacidade dos FOS de reduzir a formação de cáries e controlar os níveis de lipídios no sangue os torna uma opção atrativa para promover a saúde geral (Sánchez-martínez, M.; Soto-jover, 2020).

A obtenção do FOS pode ocorrer a partir de fontes vegetais seja ela por extração direta ou por hidrólise enzimática da inulina (Ribeiro, 2023). Podem ser produzidos pela reação de transfrutossilacção em moléculas de sacarose, catalisada por enzimas frutossiltransferases (FTase E.C.2.4.1.9) aderidas às células microbianas (Silva, 2023). As FTases apresentam baixa atividade hidrolítica, tornando-se um biocatalizador com um grande potencial para a produção de FOS. As enzimas são principalmente produzidas por fungos, como o *Aspergillus oryzae*, sendo este um fungo filamentoso, caracterizado não só pela produção de inúmeras enzimas, mas também pela sua capacidade de produzir compostos que inibem o crescimento de microrganismos patogênicos, o que viabiliza uma maior vida útil ao alimento produzido (Pereira,

2021). Na literatura, também são citadas outras espécies como *Aspergillus Flavus* (Santos, 2018), *Aspergillus niger* (MASO, 2019) e *Penicillium sp.* (Silva, 2009). O *A. oryzae* IPT 301 tem a capacidade de produzir a enzima FTase em sua forma extracelular e micelial, tornando possível o uso de células íntegras que leva vantagem sobre as células isoladas no meio extracelular. O uso da enzima contida no micélio também confere uma maior proteção perante a efeitos de desestabilização e degradação causados durante o uso da FTase (Cunha, 2017).

A bucha vegetal tem sido objeto de estudo recente como um potencial suporte para a imobilização enzimática. A bucha vegetal é uma fibra natural derivada da planta *Luffa cylindrica*, conhecida por sua estrutura porosa e propriedades físico-químicas favoráveis como estabilidade em diferentes condições de pH e temperatura, que são essenciais para a produção eficiente de FOS (Tambekar et al., 2020). Sua alta porosidade proporciona uma grande área superficial disponível para a ligação das enzimas, permitindo uma imobilização eficaz e estável (Singh et al.). Além disso, a bucha vegetal é biodegradável, renovável e de baixo custo, o que a torna uma opção promissora como suporte para a imobilização enzimática em processos industriais e ambientalmente sustentáveis. Portanto, o uso da bucha vegetal como suporte na imobilização enzimática é uma estratégia promissora para a produção de FOS, possibilitando a obtenção desses valiosos compostos de forma mais eficiente e sustentável.

A produção de FOS em um reator de leito fixo (PBR) oferece várias vantagens operacionais em comparação com outros tipos de reatores. Essa configuração facilita a separação entre o biocatalisador e o substrato, o que permite uma operação por longos períodos de tempo com boa estabilidade (Santana et al., 2018). Além disso, PBR oferece um controle mais preciso dos parâmetros de reação, como temperatura,

pH e fluxo de substrato, o que é crucial para garantir uma alta eficiência na produção de FOS. Outra vantagem é a capacidade de escalar facilmente a produção, tornando o processo adequado para aplicações industriais contínuas. Nesse sentido, o PBR tem sido utilizado na produção de FOS a partir da enzima frutotransferase imobilizada em suportes (Zhang et al., 2019). Dias (2020) e Prata (2020) estudaram o desempenho da enzima proveniente do *Aspergillus oryzae* IPT-301, em reação contínua no reator PBR, constatando obter maiores atividades que em reações convencionais, alcançando indícios de que de grande aplicação do processo contínuo, em reator PBR, para a produção de FOS em processos de implementação indústria, tanto para as células encapsuladas ou em seu estado livre. Este projeto, tem como objetivo estudar a imobilização de células íntegras de *Aspergillus oryzae* IPT-301 em bucha vegetal durante o cultivo e avaliar o desempenho dessas células imobilizadas na reação de transfrutoseilação da sacarose em reator de leito fixo (PBR) em fluxo contínuo.

MÉTODO E MATERIAIS

Matéria-prima

A bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) utilizada como suporte de imobilização foi adquirida no município de Tocantínia – TO.

Microrganismo

As cepas do fungo *Aspergillus oryzae* IPT-301 foram cedidas pelo banco de cultura do Laboratório de Biotecnologia Industrial do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT/SP) na forma de esporos liofilizados.

Preparo da bucha vegetal

A bucha vegetal foi preparada com a retirada inicial da casca e da parte interior (cilíndrica) da bucha, sendo utilizada somente as paredes externas do material, formando uma malha. O corte foi realizado no formato de bastão com altura e largura de aproximadamente 5,0 x 0,4 cm respectivamente.

Pré-tratamento da bucha vegetal

Após a obtenção dos cubos de bucha vegetal, o material foi pré-tratado pela imersão do suporte em água destilada a 90 °C por 30 minutos, com auxílio de uma chapa aquecedora (Solab®, modelo SL-91/A). Posteriormente, as buchas foram filtradas e imersas em água destilada à temperatura ambiente por 24 horas, sendo trocada a água destilada uma vez durante esse período. As buchas foram, então, secas em estufa a 70 °C por 6 h (ARAÚJO, 2021).

Preparo do inóculo

O preparo do pré-inóculo foi realizado pelo processo de repicagem em meio de cultura sólido contendo (em %, m/v) ágar batata dextrose (BDA – KASVI ® 2,0; glicerina (Dinâmica ®) 2,5; extrato de levedura (Biolog ®) 0,5 e glicose (Synth ®) 2,5 e pH 5,5, ajustado com solução de NaOH 0,1M ou HCl 0,1M. O meio de cultura foi adicionado em placas de Petri para posterior inoculação do fungo. Os esporos liofilizados foram ressuspensos em água destilada estéril, alíquotas de 70 µL dos esporos ressuspensos foram inoculadas no meio de cultura sólido e a incubação foi realizada a 30 °C durante 7 dias em estufa (Nova Ética®, modelo 402/3N), (ARAÚJO, 2021). Todos os procedimentos foram realizados em câmara de fluxo laminar (Pachane®, modelo PCR T2-ECO). Após o período de incubação foi adicionada em cada placa 10 mL de solução contendo NaCl (0,95%, m/v) e Tween-80 (Dinâmica ®) (0,1%, v/v), a raspagem dos esporos do fungo foi realizada com o auxílio da alça de Drigalsky e alça de níquel-cromo, ambas mergulhadas em

álcool e flambadas. A suspensão obtida foi filtrada em seringa contendo lã de vidro estéril e, em seguida, homogeneizada com solução de glicerina (Dinâmica ®) 20% (m/v), e a concentração de esporos foi ajustada para 1×10^7 esporos/mL com o auxílio de uma câmara de Neubauer (Lhabo ®). Os esporos foram, então, armazenados em microtubos do tipo Eppendorf a -6°C (Araújo, 2021).

Produção e imobilização das células íntegras

O meio de cultivo sintético foi constituído por (em %, m/v): sacarose (União ®) 15,0; extrato de levedura (Biolog ®) 0,5; NaNO_3 (Nox ®) 0,5; KH_2PO_4 (Synth ®) 0,2; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Dinâmica ®) 0,05; $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (Synth ®) 0,03 e $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (Synth ®) 0,001, sendo ajustado o pH em 5,5 com solução de NaOH 0,1M ou HCl 0,1M. Foram distribuídos 50 mL de meio de cultura em Erlenmeyers de 250 mL juntamente a bucha vegetal pré-tratada em Béckers, todo o material foi autoclavado a 121°C 2,0 atm durante 20 min. Em câmara de fluxo laminar (Pachane®), modelo PCR T2-ECO), foram inseridas as buchas nos Erlenmeyers de 250 mL contendo o meio de cultura, em seguida alíquotas de 500 μL foram inoculadas no meio de cultura sintético e foi levado a incubadora Shaker (Tecnal ®, Modelo TE - 4200) a 30°C e 200 rpm por 28 horas. Após o período de incubação o caldo foi filtrado em bomba a vácuo (ALPAX ®) separando as células íntegras imobilizadas do caldo, ambos foram armazenados para posterior ensaios de atividades enzimáticas e estabilidade operacional. Os experimentos foram realizados em triplicata.

Ensaio de atividade enzimática das células íntegras imobilizadas

As atividades enzimáticas foram determinadas conforme procedimento descrito por Cunha (2017) e Garcia (2018). Para a atividade enzimática micelial, foram pesadas 1 g de células íntegras imobilizadas em bucha vegetal (1 palito) e adicionada em tubos de ensaio contendo

3,7 mL de solução sacarose 63,6% (m/v) e 1,2 mL de tampão tris-acetato 0,2 mol/L, pH 5,5. A reação enzimática foi conduzida em incubadora Shaker (Tecnal ®, Modelo TE - 4200) a uma temperatura de 50 °C a 190 rpm durante 1 hora, o caldo foi então filtrado utilizando bomba a vácuo (ALPAX ®) e a atividade foi interrompida com banho de ebulição por 10 min em seguida levado ao resfriamento em banho de água e gelo por 5 min. Para a atividade enzimática do caldo filtrado foram substituídas as células íntegras imobilizadas por uma alíquota de 100 µL, sendo utilizado o mesmo método.

As concentrações de açúcares obtidos durante os ensaios de reação enzimática foram descritas pelas equações 2, 3, 4 e 5.

$$[ART] = [F] + [G] \quad \text{Equação (2)}$$

$$[F] = [ART] - [G] \quad \text{Equação (3)}$$

$$[F_T] = [G] - [F] = 2[G] - [ART] \quad \text{Equação (4)}$$

$$A_T = \frac{[F_T] \times [V_R]}{t_r \times m_{ms}} \quad \text{Equação (5)}$$

Onde, [ART], [F], [G] e [FT] representam as concentrações de açúcares redutores totais, frutose, glicose e frutose transfrutossilada, respectivamente, expressas em µmol/L ou µmol/g e [AT] representa atividade de transfrutosilação, em que [V_r] é o volume da reação (em L), *t_r* é o tempo de reação (em min) e *m_{ms}* é a massa seca efetiva das células (em g) imobilizadas em bucha vegetal. Para a determinação da atividade enzimática do caldo filtrado foi utilizada a mesma equação de [AT], sendo trocada a massa seca pelo volume (em L) utilizado.

Implementação do reator PBR e produção contínua de fruto-oligossacarídeos

As reações foram conduzidas em um reator cilíndrico feito de borosilicato, com um diâmetro interno de 12 mm e uma jaqueta de

vidro para recirculação de água como fluido de troca térmica. O reator possui suportes na base e na parte superior para fixação do biocatalisador. A temperatura da reação foi controlada utilizando um banho termostático com recirculação, e o transporte dos reagentes (solução de sacarose e tampão TRIS) foi realizada por meio de uma bomba peristáltica, com fluxo ascendente. As amostras foram coletadas na saída do reator e imediatamente submersas em água fervente por 5 minutos e, em seguida, colocadas em um banho de gelo para interromper a reação enzimática.



Figura 1: Reator com a bucha vegetal

Fonte: próprio autor

Ensaaios de estabilidade operacional da FTase micelial imobilizada

Os ensaios de estabilidade foram realizados em reator de leito fixo (PBR) com fluxo contínuo durante a reação de transfrutoseilação da sacarose pela enzima micelial imobilizada em bucha vegetal, em função do tempo de reação, utilizando o meio reacional contendo solução de sacarose e tampão TRIS.

DADOS E DISCUSSÃO

Preparo e pré-tratamento da bucha vegetal

A bucha vegetal (*Luffa cylindrica*), após passar por seu pré-tratamento, manteve características físicas muito próximas ao seu

estado *in-natura*, preservando tanto o tamanho quanto o formato de sua estrutura fibrosa. Essas características são fundamentais para o crescimento da biomassa, pois a estrutura fibrosa da bucha facilita a adesão e o suporte das células. Observou-se que o pré-tratamento resultou em mudanças perceptíveis na cor da bucha, que ficou mais esbranquiçada.

Produção e imobilização das células íntegras

A imobilização consiste em confinar e/ou aderir, física ou quimicamente, a célula microbiana a um suporte sólido insolúvel e inerte em meio aquoso ou solvente orgânico, obtendo-se um biocatalisador heterogêneo com elevada atividade, especificidade, seletividade, estabilidade e com potencial aplicação para implementar e conduzir processos nos modos batelada e contínuo (Gonçalves et al., 2020; Lorenzoni et al., 2015; Ribeiro 2023; Zambelli et al., 2016).

O cultivo das células íntegras de *Aspergillus oryzae* IPT-301 em bucha vegetal apresenta crescimento da biomassa diretamente no material de suporte com crescimento de $0,576 \pm 0,003$ g, a imagem da estrutura da bucha vegetal pré-tratada está disposta na Figura 1 (A) em que é possível observar seus filamentos na estrutura do material. A Figura 2 (B) mostra o suporte com o crescimento do fungo, onde é possível observar o desenvolvimento do *Aspergillus oryzae* IPT-301 ao longo dos filamentos da bucha vegetal. Nesse processo, as células do microrganismo são distribuídas e imobilizadas de maneira válida durante o cultivo celular submerso, demonstrando a capacidade do suporte em proporcionar uma aderência adequada e sustentação ao crescimento do fungo.

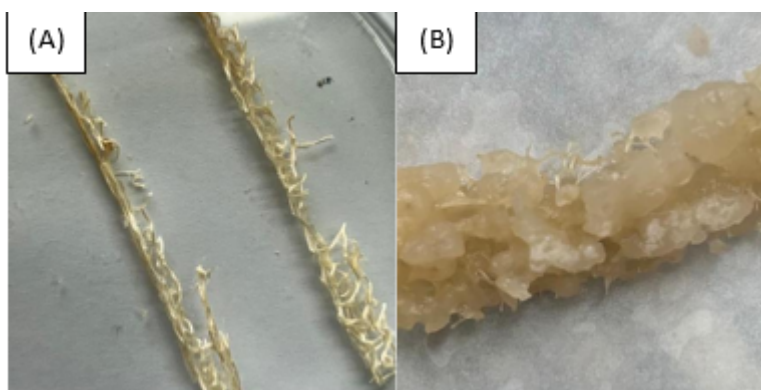


Figura 2: Imagem da bucha vegetal pré-tratada antes e depois do cultivo celular submerso. (A) bucha pré- tratada e (B) bucha após o cultivo celular submerso.

Fonte: próprio autor

Elizei (2014) e Soares (2012) classificam o gênero *Aspergillus sp* como um fungo filamentoso, as hifas são encontradas em fungos filamentosos e seu desenvolvimento ocorre em quatro estágios: germinação de esporos, crescimento de hifa, ramificação e diferenciação fúngica. De acordo com a Figura 1 (B), cuja imagem de mostra o último estágio de formação do fungo, há a formação de hifas não septadas, sem a presença de corpos de frutificação, sem a presença de esporos e um micélio homogêneo, que é uma característica de crescimento micelial de um fungo filamentoso do gênero *Aspergillus sp*. Tais características podem ser relacionadas com as condições de crescimento empregadas, tais como tempo de crescimento, meio de cultura e outros elementos inerentes ao procedimento empregado.

De acordo com Barbosa (2022) ao realizar o mesmo ensaio para a produção e imobilização de células de *Aspergillus oryzae* IPT 301, com atividade de transfrutossilção, em esponja de poliuretano, obteve uma atividade média de transfrutossilção de $145,43 \text{ U g}^{-1}$ após um tempo de cultivo celular de 32 horas. Isso sugere que os resultados obtidos no presente trabalho demonstraram ser promissores.

Ensaio de atividade enzimática das células íntegras imobilizadas

A Figura 3 apresentar o processo referente ao ensaio de atividade enzimática demonstrado os resultados da síntese de FOS em um processo de batelada contínua, onde se pode observar que a concentração de glicose e frutose crescem ao decorrer do tempo, ao passo que a sacarose é gradualmente consumida, até atingir um nível mínimo. Há, no entanto, sempre um resíduo de sacarose no final da reação, além dos outros açúcares liberados no processo (Araújo, 2021)

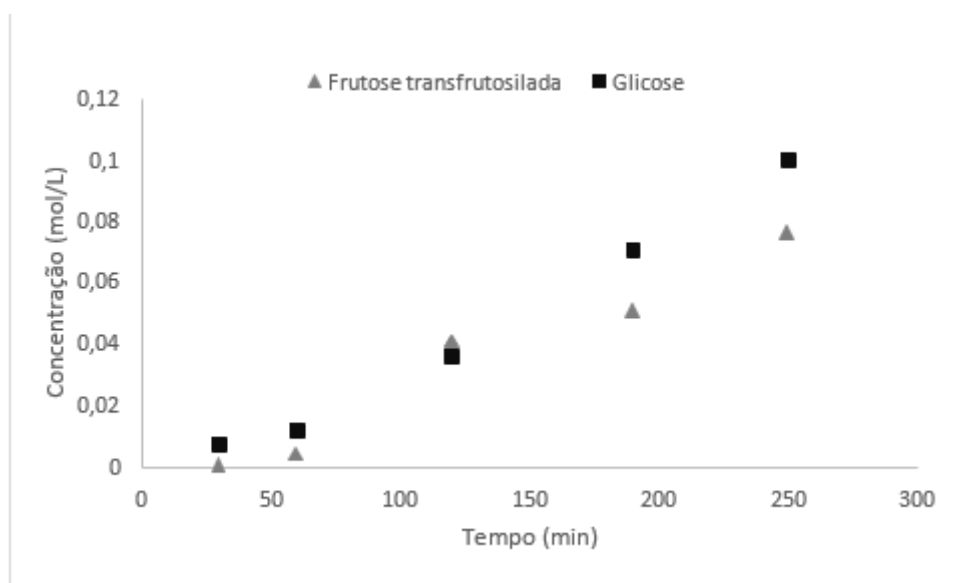


Figura 3: Concentrações de Frutose e Glicose em função do tempo.

Fonte: próprio autor

Como o meio de reação contém sacarose, à medida que a concentração de sacarose diminui, a enzima começa a realizar a transfrutossilação, que converte a frutose liberada em FOS. Cardoso (2023), em seus estudos, demonstrou que, nas fases iniciais da reação de transfrutossilação, a enzima promove a hidrólise da sacarose, resultando na liberação de glicose e frutose. Esse comportamento é compatível com o aumento das concentrações de glicose e frutose transfrutossilada observados.

Implementação do reator PBR e produção contínua de frutoligosacarídeos

A figura 4 apresenta os resultados de atividade de transfrutossilação monitorada durante a condução do experimento sob condições previamente determinadas no planejamento experimental.

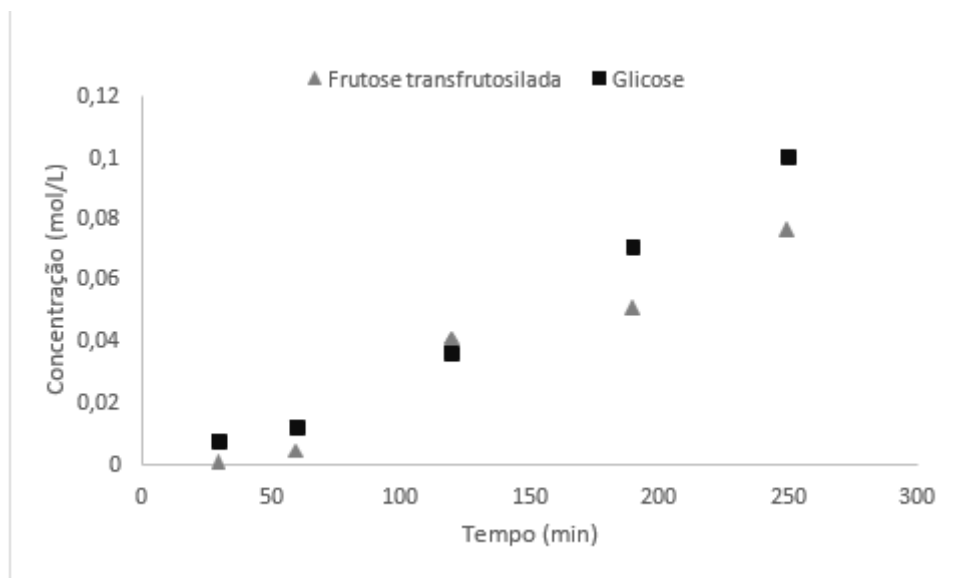


Figura 4: Perfis de atividade de transfrutossilação em função do tempo obtidos em reator PBR.

Fonte: próprio autor

Os resultados obtidos da atividade de transfrutossilação ao longo do tempo, revelam um aumento progressivo na atividade enzimática. Aos 5 minutos de reação, a atividade foi de 64,47 U/g, indicando um início e convincente da transfrutossilação. Após 15 minutos, a atividade aumentou significativamente para 91,99 U/g, refletindo um crescimento de cerca de 43% em relação ao valor inicial. Esse aumento rápido inicial sugere que as condições do reator eram adequadas para a ativação enzimática e a disponibilidade de substrato.

Dias et al. (2022) obteve para a mesma temperatura de 50 °C de reação os valores de atividade enzimática, iguais a $491 \pm 69 \text{ U. g}^{-1}$ e $500 \pm 43,14 \text{ U. g}^{-1}$, para as células íntegras livres. O comparativo entre os estudos demonstra a eficiência promovida pela imobilização das células íntegras

em esponja de poliuretano em detrimento da utilização das células integras livres diretamente no reator contínuo.

O maior crescimento na atividade foi observado entre 60 e 120 minutos, onde a atividade de transfrutoseilação alcançou seu pico de 143,23 U/g. Esse valor final representa um aumento total de cerca de 122% em comparação com o início do experimento e um incremento de aproximadamente 34% entre 60 e 120 minutos. Esses dados sugerem que as condições dentro do reator PBR continuam a favorecer a atividade enzimática mesmo em tempos mais prolongados, sem sinais de desativação do catalisador ou inibição significativa até os 120 minutos de reação.

De acordo com o estudo realizado por Dias (2020), as células livres atingem cerca de 94% de atividade recuperada após 120 minutos de reação, mantendo-se estáveis durante o processo com reciclo. Isso permite que o limite máximo da reação seja atingido mais rapidamente, graças ao contato direto das células livres com o substrato. No entanto, observa-se uma perda mais rápida da estabilidade reacional, e a reação não consegue manter 100% da sua atividade, reforçando a importância da imobilização celular para maior eficiência.

Garcia (2018) demonstrou que, em um sistema de reação batelada, as células íntegras imobilizadas podem alcançar até 75% de sua atividade recuperada após 12 horas de reação. Esses dados sugerem que, em um reator de leito fixo (PBR), as células reticuladas apresentam desempenho superior em comparação com reações conduzidas em sistemas batelada.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho implementou um sistema reacional contínuo em reator de leito fixo (PBR), empacotado com células de *Aspergillus oryzae* IPT-301, imobilizadas em bucha vegetal pré-tratada, visando obter elevada atividade de transfrutossilação para a síntese enzimática de FOS.

A imobilização de células íntegras de *Aspergillus oryzae* IPT-301 em bucha vegetal (*Luffa cylindrica*) foi bem-sucedida. A estrutura porosa da bucha permitiu um suporte adequado para o crescimento e fixação das células, garantindo uma boa adesão e sustentação ao fungo durante o cultivo.

A reação monitorada por sua atividade de transfrutossilação, atingiu uma atividade máxima de $143,23 \text{ U.g}^{-1}$ em 120 min de reação. Observou-se um comportamento da atividade de transfrutossilação durante o tempo de 120 minutos.

Por fim, conclui-se que o processo desenvolvido, empregando biomassa imobilizada em bucha vegetal como recheio do reator de leito fixo, é um potencial processo para implementação industrial da produção de furto-oligossacarídeos.

REFERÊNCIAS

Araújo, I. M. Imobilização de frutossiltransferase extracelular de *Aspergillus oryzae* IPT 301 em polihidroxitirato e sua caracterização bioquímica para a produção de frutooligossacarídeos. 2021. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2021.

Barbosa, Nathália Romani. Imobilização de células de *Aspergillus oryzae* IPT-301 em esponja de poliuretano para a produção enzimática de frutooligossacarídeos. 2023. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2023.

Cardoso, Mariana Ferreira Martins. Implementação de reator de leito fixo empacotado com células de *Aspergillus oryzae* IPT - 301 imobilizadas em esponja de poliuretano para a produção enzimática de fruto-oligossacarídeos. 2023. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2023.

Cunha, J. Produção e caracterização da enzima frutossiltransferase de *Aspergillus oryzae* IPT-301 visando a obtenção de frutooligossacarídeos. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2017.

Dias, G. S., Santos, E. D., Xavier, M. C. A., Almeida, A. F., Silva, E. S., Maiorano, A. E., Perna, R. F., & Morales, S. A. V. Study on the transfructosylation activity of *Aspergillus oryzae* IPT- 301 cells in a packed bed reactor aiming at fructooligosaccharide production. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 2022.

Dias, G. S., et al. Study on the transfructosylation activity of *Aspergillus oryzae* IPT-301 cells in a packed bed reactor aiming at fructooligosaccharide production. *Chem Technology and Biotechnology*, 97, p. 2904-2911, 2022.

Elizej, V. G. Imobilização de fungos filamentosos com potencial para uso agroindustrial. *Arquivos do Instituto Biológico*, v. 81, n. 2, p. 165-172, abr. 2014.

Garcia, Rogério Lopes. Imobilização da biomassa catalítica de *Aspergillus oryzae* IPT- 301, caracterização e aplicação na produção de frutooligossacarídeos. 2018. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2018.

Maso, S. Produção de Frutossiltransferase e β -Frutofuranosidase por *Aspergillus niger* ATCC 9642 em Cultivo Submerso. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões URI, Erechim, 2019.

Perna, R. F., et al. Produção e caracterização bioquímica de frutossiltransferase extracelular microbiana para a síntese de frutooligossacarídeos em escala laboratorial. In: Avanços Científicos e Tecnológicos em Bioprocessos. Ponta Grossa-PR: Editora Atena, v. 1, p. 1-193, 2018.

Pereira, R. S. Imobilização da enzima frutossiltransferase extracelular de *Aspergillus oryzae* IPT 301 em sabugo de milho para produção de frutooligossacarídeos. 2021. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2021.

Ribeiro, B. M. Imobilização de células íntegras de *Aspergillus oryzae* IPT-301 visando estudos biocatalíticos em reator de leito fixo para a produção de frutooligossacarídeos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2023.

Sánchez-Martínez, M., Soto-Jover, S., Martínez-Hernández, G., & López-Gómez, A. Manufacturing of short-chain fructooligosaccharides: From laboratory to industrial scale. *Food Engineering Reviews*, 12(2), 149-172, 2020.

Santos, John. Determinação da umidade do solo. Laboratório de Geotecnia e Pavimentação. Universidade do Estado de Santa Catarina. Santa Catarina, sem data. Disponível em:

https://www.udesc.br/arquivos/cct/id_cpmenu/1036/Apostila_Umidade_dos_solos_1581625940912_4_1036.pdf. Acesso em 07 de março de 2024.

Silva, Guilherme Ferreira da. Síntese, modelagem, simulação e análise técnico-econômica de uma planta de produção de biocatalisadores heterogêneos para obtenção de frutooligossacarídeos. 2023. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, MG, 2023.

Silva, J. Seleção de microrganismos produtores de frutossiltransferase e estudo das propriedades bioquímicas da frutossiltransferase de *Penicillium* sp. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

Singh, R., Kumar, M., Mittal, A., & Mehta, P. K. Microbial enzymes: Industrial progress in the 21st century. *3 Biotech*, 7(5), 1-15, 2017.

Soares, M. S. Síntese e caracterização de espumas de poliuretano para imobilização de células íntegras e aplicação na síntese de biodiesel. Lorena: Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, 2012. 119 p. (Dissertação, Mestrado em Ciências).

Tambekar, D. H., Khobragade, C. N., & Maske, K. S. *Luffa cylindrical* seed powder as a potential carrier for lipase immobilization: Optimization, characterization, and stability studies. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*, 18(1), 1-9, 2020.

Zhang, Q., Tang, X., Tian, X., & Bai, W. Continuous production of fructooligosaccharides by immobilized β -fructofuranosidase in a packed-bed reactor. *International Journal of Biological Macromolecules*, 130, 658-664, 2019.

FINANCIAMENTO

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO
DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

O presente trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil

Sobre os organizadores

THIAGO NILTON ALVES PEREIRA

Possui graduação em Ciências Biológicas (Bacharelado e Licenciatura) pela Universidade Federal do Tocantins (2007), mestrado (2010) em Ciências Biológicas, área de concentração em Zoologia pela Universidade Estadual de São Paulo "Julio de Mesquita Filho", câmpus Botucatu (2010) e doutorado (2014) em Ciências, área de concentração em Biologia Comparada pela Universidade de São Paulo. Tem experiência na área de Zoologia, com ênfase em sistemática e taxonomia de grupos recentes, com ênfase em peixes, além de estudos comparativos da anatomia do Sistema Nervoso Central. Atualmente, é Professor Adjunto III do Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal do Tocantins e Docente Permanente do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade, Ecologia e Conservação. Atualmente é Diretor de Pesquisa junto à PROPESQ na UFT.

RUHENA KELBER ABRÃO

Professor Adjunto IV na Universidade Federal do Tocantins (UFT), Coordenador e Professor do Mestrado Profissional em Educação Física e do Doutorado em Educação na Amazônia. Coordena o Centro de Formação, Extensão, Inovação e Pesquisa em Educação, Lazer e Saúde (CEPELS) e atua como Presidente da Editora Universitária da UFT (EdUFT). Possui 12 anos de experiência na Educação Básica antes de ingressar no Ensino Superior em 2008. Atua nas áreas de docência e gestão com foco na Educação e Saúde e Lazer.

JOSÉ DE OLIVEIRA MELO NETO

Professor adjunto da Universidade Federal do Tocantins no campus de Gurupi vinculado ao curso de graduação em Engenharia Florestal. Graduado em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Sergipe, mestre e doutor em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas pela Universidade Federal de Lavras, Pós-doutor pela universidade Federal de Alfenas - Campus Poços de Caldas, atuando principalmente nos seguintes temas: modelagem hidrológica e ambiental, hidrometeorologia, hidrologia florestal, gestão de bacias hidrográficas, hidrossedimentologia, manejo de solo e uso de geotecnologias na área florestal. Atualmente também é coordenador institucional do PIBIC na UFT.

HORIZONTES CIENTÍFICOS DA UFT: REFLEXÕES DO XX SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA (PIBIC)

VÂNIA DE PAULA NEVES

Graduada em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual do Tocantins (UNITINS), atuou no desenvolvimento de pesquisas na área de tecnologia e processamentos de alimentos no laboratório da UNITINS, com vínculo de estágio. Realizou pesquisas de ensino e extensão na área de manejo e controle de plantas daninhas, relacionados ao herbicida glyphosate. Atualmente assessora técnica junto a Diretoria de Pesquisa.

LÚCIA MORAES E SILVA

Estudante de Jornalismo na UFT. Presidente da Sagaz Jr (Empresa Júnior de Jornalismo). Estagiária na Editora da Universidade Federal do Tocantins.

ANA JÚLIA CAMPOS VIEIRA

Estudante de Ciência da Computação na UFT. Diretora de Assuntos Estudantis do Centro Acadêmico de Ciência da Computação. Estagiária na Diretoria de Pesquisa na Universidade Federal do Tocantins.

