



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE GURUPI
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E
AMBIENTAIS**

JANIERE DOS SANTOS CARDOSO

**INFLUÊNCIA DO ÁCIDO ÚMICO (HUMIX) NO DESENVOLVIMENTO INICIAL
DE MUDAS DE ESPÉCIES NATIVAS DO CERRADO**

Gurupi, TO
2024

Janiere dos Santos Cardoso

**Influência do ácido úmico (Humix) no desenvolvimento inicial de mudas de espécies
nativas do Cerrado**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Florestais da Universidade Federal do Tocantins (UFT), como requisito à obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais.

Orientador: Dr. Marcos Giongo
Coorientadora: Dr.^a Damiana Beatriz da Silva
Coorientador: Dr. Jader Nunes Cachoeira

Gurupi, TO

2024

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

- D724i dos Santos Cardoso, Janiere.
Influência do ácido úmico (Humix) no desenvolvimento inicial de mudas de espécies nativas do Cerrado. / Janiere dos Santos Cardoso. – Gurupi, TO, 2025.
64 f.
Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Gurupi - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Ciências Florestais e Ambientais, 2025.
Orientador: Marcos Vinicius Giongo Alves
1. Cerrado. 2. Plantas nativas. 3. Ácido úmico. 4. Nutrientes. I. Título

CDD 628

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. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Janiere dos Santos Cardoso

Influência do ácido úmico (Humix) no desenvolvimento inicial de mudas de espécies nativas do Cerrado

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais. Foi avaliado para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 21/03/2025

Banca Examinadora

Prof. Dr. Marcos Vinicius Giongo Alves – Orientador, UFT

Prof. Dr. Jose Fernando Pereira – Examinador, UFT

Prof. Dr. Edivaldo Alves dos Santos – Examinador, IFTO

Dedico este trabalho aos meus filhos, João Emanuel Gonçalves dos Santos e Beatriz Prates dos Santos, e a minha esposa e companheira, Arinéia Prates dos Santos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que sempre me deu forças para persistir e continuar. A minha mãe, Sr.^a Neusa Maria de Jesus Cardoso, por minha vida e pela educação.

Ao meu orientador, professor Dr. Marcos Giongo, e meus Coorientadores, Dr.^a Damiana Beatriz da Silva e Dr. Jader Nunes Cachoeira pela orientação, ensinamentos e paciência na condução desse trabalho.

Ao professor Dr. Aurélio Vaz de Melo pelo enorme apoio na condução dos experimentos e pela confiança em me permitir realizar essa dissertação fazendo as análises do bioinsumo por ele desenvolvido. Bem como, aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais pelo incentivo e apoio à pesquisa.

As amigadas que fiz no decorrer do mestrado e a toda equipe do CeMAF e da administração do Campus de Gurupi-UFT, especialmente ao Sr. Rodrigo Pietro, Dr. André Henrique Gonçalves; Dr. Igor Eloy e; Dr. Olavo da Costa Leite pelos apoios em momentos importantes.

Por fim, gostaria de expressar meus profundos agradecimentos a todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuiu pelo meu desenvolvimento pessoal e profissional. Embora não seja possível listar todos, quero enfatizar minha gratidão por cada um.

RESUMO

O bioma Cerrado, reconhecido por sua vasta biodiversidade, enfrenta desafios significativos de degradação devido à expansão agropecuária e à baixa fertilidade natural do solo. Este estudo investigou a influência do ácido húmico no crescimento e desenvolvimento de mudas de espécies nativas do Cerrado (Caroba Roxa, Aroeira, Tamboril e Gonçalo Alves), visando contribuir para práticas de restauração mais eficientes e sustentáveis. O experimento foi conduzido em condições controladas, utilizando substratos com diferentes concentrações de ácido húmico, e avaliou parâmetros como crescimento radicular, biomassa aérea, área foliar e taxa de sobrevivência das mudas. Os resultados indicaram que a aplicação de ácido húmico promoveu um aumento significativo na biomassa radicular e aérea, além de melhorar a altura e o diâmetro das mudas, especialmente em concentrações moderadas (1,20; 1,80 ml). No entanto, as concentrações 2,40 e 3,00 ml do ácido húmico resultaram em maior mortalidade das mudas, sugerindo a necessidade de ajustes nas dosagens. A ausência de fósforo em quantidades adequadas no bioinsumo utilizado também foi identificada como uma limitação para o desenvolvimento radicular. Desta forma, o uso de ácido húmico é uma estratégia promissora para a biofortificação de mudas nativas, com potencial para melhorar a qualidade do solo e promover a restauração de áreas degradadas. Recomenda-se a realização de estudos adicionais em condições de campo e a investigação de combinações com outros bioinsumos para otimizar os resultados.

Palavras-chaves: Espécies nativas. Bioinsumo. Biossólido. Restauração. Cerrado.

ABSTRACT

The Cerrado biome, renowned for its vast biodiversity, faces significant degradation challenges stemming from agricultural expansion and low natural soil fertility. This study investigated the influence of humic acid on the growth and development of seedlings from native Cerrado species (Caroba Roxa, Aroeira, Tamboril, and Gonçalo Alves), aiming to foster more efficient and sustainable restoration practices. The experiment was conducted under controlled conditions, utilizing substrates with varying concentrations of humic acid, and evaluated parameters including root growth, shoot biomass, leaf area, and seedling survival rate. Results indicated that humic acid application significantly enhanced root and shoot biomass, alongside improving seedling height and diameter, particularly at moderate concentrations (1.20; 1.80 ml). However, humic acid concentrations of 2.40 and 3.00 ml led to increased seedling mortality, indicating a need for dosage adjustments. The lack of adequate phosphorus quantities in the employed bio-input was also identified as a limiting factor for root development. Therefore, employing humic acid represents a promising strategy for the biofortification of native seedlings, holding potential for soil quality improvement and the restoration of degraded areas. Further investigations under field conditions and exploring combinations with other bio-inputs are recommended to optimize outcomes.

Key-words: Native species. Bioinput. Biosolids. Restoration. Cerrado.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 - Fotografia que caracteriza a Caroba Roxa (<i>Jacaranda macrantha</i>).....	20
Figura 2 - Fotografia que caracteriza a Aroeira (<i>Myracrodruon urundeuva</i>).	21
Figura 3 - Fotografia que caracteriza o Tamboril (<i>Enterolobium contortisiliquum</i>).	22
Figura 4 - Fotografia que caracteriza o Gonçalo Alves (<i>Astronium fraxinifolium</i>).	23
Figura 5 - Mapa de localização da área de estudo (Viveiro CEMAF-UFT).....	39
Figura 6 - Mudanças das espécies avaliadas no Viveiro CRAD/CEMAF.	41
Figura 7 - Exemplificação dos procedimentos de medição de altura das mudas e remoção da raiz para análises.....	43
Figura 8 - Raízes das espécies estudadas em solução para análises químicas.	43
Figura 9 - Dados de diâmetro inicial por espécies.....	44
Figura 10 - Diagramas de Box-Plot para o peso seco com diferença significativa entre as espécies.....	45
Figura 11 - Diagramas de Box-Plot para altura inicial com diferença significativa entre as espécies.....	46
Figura 12 - Diagramas de Box-Plot para altura final com diferença significativa entre as espécies.....	47
Figura 13 - Diagrama de Box plot dos efeitos da disponibilidade de nutrientes nas diferenças de respostas de crescimento entre as espécies.....	48
Figura 14 - Diagrama de Box plot dos efeitos da disponibilidade de nutrientes em cada tratamento.....	49
Figura 15 - Diagramas de Box-Plot para peso da raiz com diferença significativa entre as espécies.....	50
Figura 16 - Diagrama de Box-plot dos efeitos das variáveis de qualidade de muda em cada tratamento.....	51
Figura 17 - Diagrama de Box-plot dos efeitos das variáveis de qualidade de muda em cada espécie.....	52
Figura 18 - Análise de Componentes Principais das variáveis indicativas de qualidade de muda obtidas neste estudo após aplicação do Humix.....	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição elementar do biossólido Humix	42
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

UFT	Universidade Federal do Tocantins
CeMAF	Centro de Monitoramento Ambiental e Manejo do Fogo
H	altura de mudas
DC	diâmetro do colo
NF	número de folhas
NFO	número de folíolos
MSC	massa seca do caule
MSF	massa seca das folhas
MSR	massa seca da raiz
MSPA	massa seca da parte aérea
MST	massa seca total
CLA	clorofila A
CLB	clorofila B
CLT	clorofila total
TRA	teor relativo de água
ci	carbono interno
A	fotossíntese líquida
Gs	condutância estomática
E	transpiração
AFE	área foliar específica
AFT	área foliar total
IAF	índice de área foliar
IQD	índice de qualidade de desenvolvimento
m	metro
mL	mililitro
kg	quilograma
dag	decagrama
mm	milímetro
ppm	parte por milhão

LISTA DE SÍMBOLOS

%	porcentagem
®	marca registrada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Problema de pesquisa	16
1.2 Objetivos	17
1.2.1 Objetivo geral	17
1.2.2 Objetivos específicos.....	17
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 Características do bioma Cerrado e espécies nativas	18
2.2 Processos físico-químicos de obtenção de substâncias húmicas	27
2.3 Tipos de substâncias húmicas e suas aplicações	29
2.4 Protocolos de adubação com substâncias húmicas	30
2.5 Produção de mudas no bioma Cerrado com substâncias húmicas	31
2.6 Indicadores de qualidade na produção de mudas	33
2.7 Produtos comerciais de substâncias húmicas	34
2.8 Benefícios econômicos e ecológicos do uso de substâncias húmicas	36
2.9 Casos de sucesso na biofortificação de espécies florestais	37
3 METODOLOGIA	38
3.1 Local do estudo	38
3.2 Procedimentos metodológicos	40
4 RESULTADOS E ANÁLISE	43
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
4.1 Contribuições da dissertação	55
4.2 Limitações e desafios	55
4.3 Recomendações para pesquisas futuras	56
REFERÊNCIAS	56

1 INTRODUÇÃO

O bioma Cerrado é um ecossistema rico e complexo, cobrindo aproximadamente 24% do território brasileiro e abrigando vasta biodiversidade em paisagens distintas que se estendem por aproximadamente 2 milhões de quilômetros quadrados, cobrindo cerca de 24% do território brasileiro (HOSONO, HANAGUCHI; BOJANIC, 2019). Caracterizado por vegetação variada com mais de 11 mil espécies de plantas, o Cerrado tem grandes extensões ocupadas por pastagens (29,5%) e terras agrícolas (11,7%) (LAPOLA et al., 2014), sendo responsável por cerca de metade do rebanho bovino e 55% da produção de grãos nacional (HOSONO, HAMAGUCHI; BOJANIC, 2019).

Apesar da riqueza biológica, enfrenta desafios de conservação, sendo um obstáculo principal a baixa fertilidade natural de seu solo (SIQUEIRA-NETO et al., 2021). Os solos são predominantemente ácidos e pobres em nutrientes essenciais como nitrogênio, fósforo e potássio, devido à lixiviação intensa causada pela precipitação sazonal e à presença natural de minerais de baixa solubilidade (GMACH et al., 2018). (GMACH et al., 2018). Essa característica intrínseca do solo representa uma limitação significativa na matéria orgânica e no desenvolvimento de uma vegetação mais complexa e densa, afetando diretamente a capacidade do bioma de suportar uma ampla diversidade de vida vegetal e animal (DE SANT-ANNA et al., 2017).

A expansão agropecuária no Cerrado tem sido um ponto de tensão entre o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental. Historicamente, este bioma tem sido alvo de desmatamento e degradação devido à conversão de suas áreas nativas em pastagens e plantações de soja, milho e algodão (PINHEIRO et al., 2023). Esse processo de desmatamento não apenas diminui a área e a saúde do ecossistema nativo, mas também altera o ciclo hidrológico local, contribuindo para a perda de biodiversidade e o aumento da emissão de gases de efeito estufa (DAVIES, 1997). Além disso, a destruição do Cerrado acarretará consequências catastróficas para o ciclo das águas das principais bacias hidrográficas do país, por abrigar nascentes de importantes rios produtores.

A recuperação de áreas degradadas no Cerrado é uma tarefa especialmente desafiadora, dada a complexidade da restauração dos solos na região. Estratégias de revegetação devem incluir o uso de espécies nativas que possuem adaptações específicas ao clima sazonal e às condições de solo menos férteis, porém, o sucesso dessas estratégias pode ser limitado se não acompanhadas de práticas de manejo do solo que abordem diretamente suas deficiências nutricionais (MASULLO et al., 2020).

Referências em estudos sobre experiências similares em diferentes partes do mundo sugerem que o manejo do solo com biofertilizantes pode melhorar os atributos químico-físicos do solo, criando condições mais favoráveis para o crescimento de espécies nativas e a recuperação da estrutura ecológica do bioma (SILVA, 2018; PEREIRA, 2019).

Portanto, a restauração do Cerrado é crucial para a preservação de sua biodiversidade única e para a sustentabilidade econômica dos novos modelos de exploração de seus recursos. É essencial desenvolver uma compreensão mais robusta das condições e especificidade do solo, das necessidades ecológicas das espécies vegetais e das práticas de manejo que podem otimizar a produção econômica com a conservação do bioma.

A pressão sobre o Cerrado resultou em alterações significativas na paisagem devido à conversão para monoculturas, que exigem manejo intensivo do solo e insumos, gerando impactos ambientais adversos (FRANÇA, 2017), reduzindo a biodiversidade e empobrecendo o solo. As áreas degradadas sofrem com perda de solo fértil, esgotamento de nutrientes e compactação, problemas exacerbados por práticas como queimadas para preparo da terra, que liberam carbono (SANTOS, 2018).

A savana desempenha papel vital na regulação climática e hídrica, abrigando aquíferos e nascentes. Sua destruição afeta esses serviços ecossistêmicos, contrastando com a crescente produção agrícola (CONAB, 2024). A restauração ecológica exige manejo integrado e inovador, sendo promissor o uso de espécies nativas adaptadas às condições locais (CARVALHO, 2019). A reabilitação dos solos é crucial, e a biofortificação com resíduos agrícolas ou biofertilizantes surge como alternativa sustentável para melhorar a fertilidade, retenção de água e diversidade microbiana do solo (OLIVEIRA, 2020).

No entanto, um dos maiores desafios é implementar eficazmente práticas restaurativas em larga escala e garantir a adoção destas por parte dos produtores rurais e legislações ambientais. É fundamental o desenvolvimento de políticas públicas que apoiem financeiramente e logisticamente os proprietários de terras na adoção de técnicas de biofortificação e restauração de solos, além da conscientização sobre os benefícios a longo prazo de práticas agrícolas sustentáveis para o bioma Cerrado.

Restauração efetiva depende de abordagens interdisciplinares que integrem conhecimentos de agronomia, engenharia florestal, ecologia, economia e políticas públicas. Portanto esta dissertação busca fornecer um alicerce não apenas para a implementação de práticas de recuperação baseadas em biofertilizantes e bioinsumos, mas também para fomentar o diálogo entre a academia, o governo e o setor privado, visando soluções eficientes e duradouras para o bioma cerrado.

1.1 Problema de pesquisa

A baixa fertilidade natural do solo, caracterizada por acidez elevada e deficiência de nutrientes essenciais, representa um obstáculo significativo para a recuperação de áreas degradadas e o estabelecimento de espécies nativas. O problema da pesquisa é a perda da fertilidade nos solos em função dos usos autróficos, resultando em perda nutricional e acidez do solo, mediante a isso, o ácido húmico influencia as condições de solo ácido e pobre em nutrientes?

Essa questão é relevante porque a compreensão dos efeitos do ácido húmico no crescimento inicial das mudas pode fornecer subsídios para o desenvolvimento de práticas de manejo mais eficientes e sustentáveis.

1.1.1 Hipótese

A hipótese principal desta pesquisa foi saber se a aplicação de ácido húmico no substrato de mudas de espécies nativas do Cerrado promove o aumento do crescimento radicular e aéreo, melhorando o vigor e a sobrevivência das plantas.

Como hipóteses secundárias, tem-se que:

- O ácido húmico aumenta a capacidade de retenção de água no substrato, reduzindo o estresse hídrico das mudas durante a estação seca.
- A aplicação de ácido húmico estimula a atividade microbiana do solo, favorecendo a ciclagem de nutrientes e a disponibilização de elementos essenciais para o crescimento das plantas.
- O uso de ácido húmico em mudas de espécies nativas do Cerrado resulta em maior resistência a condições adversas, como a presença de alumínio tóxico no solo.

1.1.2 Delimitação de escopo

Normalmente a aplicação de ácido húmico no crescimento de mudas de quatro espécies nativas do Cerrado: Caroba Roxa (*Jacaranda macrantha*), Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), Tamboril (*Enterolobium contortisiliquum*) e Gonçalo Alves (*Astronium fraxinifolium*).

A pesquisa foi conduzida em condições controladas, utilizando substratos com diferentes concentrações de ácido húmico, e avaliou-se parâmetros como crescimento radicular, biomassa aérea, área foliar e taxa de sobrevivência das mudas.

O estudo não abordou a aplicação de ácido húmico em campo, limitando-se à fase de viveiro e não incluiu análises econômicas ou de viabilidade de larga escala. Além disso, o foco foi nas interações solo-planta, sem aprofundar-se em aspectos microbiológicos ou bioquímicos específicos das substâncias húmicas.

1.1.3 Justificativa

O bioma Cerrado, reconhecido como um dos ecossistemas mais biodiversos do planeta, enfrenta sérios desafios de conservação devido à expansão agropecuária e à degradação de seus solos. A pesquisa buscou preencher lacunas no conhecimento sobre os efeitos das substâncias húmicas no estabelecimento e desenvolvimento de espécies nativas, oferecendo subsídios para a elaboração de estratégias de manejo que integrem a recuperação com a produtividade sustentável.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Investigar a influência do ácido húmico como potencial no crescimento de mudas de espécies nativas do Cerrado, visando contribuir para o desenvolvimento de técnicas de restauração mais eficientes e sustentáveis, produzidas em viveiro florestal.

1.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar quais parâmetros de qualidade e crescimento de mudas são sensíveis ao tratamento com substâncias húmicas;
- Determinar as dosagens recomendadas para cada espécie nativa desse estudo;
- Determinar a espécie que melhor respondeu a biofortificação;
- Determinar quais nutrientes sofreram alteração significativa das concentrações e em quais tratamentos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Cerrado brasileiro, com sua rica biodiversidade, abriga diversas espécies nativas de árvores que desempenham papéis fundamentais no equilíbrio ecológico e oferecem grandes potencialidades para a exploração econômica e conservação ambiental (CARVALHO, 2003). A literatura indica que, enquanto Caroba Roxa e Aroeira têm sido estudadas principalmente por suas propriedades medicinais e ecológicas, Tamboril e Gonçalves Alves destacam-se no mercado madeireiro (ALONSO et al., 2022). Essa análise integrada das características morfológicas, ecológicas e econômicas dessas espécies fornece uma base sólida para planejar intervenções de reflorestamento que visam equilibrar a preservação ambiental com os usos econômicos no bioma.

2.1 Características do bioma Cerrado e espécies nativas

O clima do Cerrado é classificado como tropical de savana (Aw) no sistema de classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). A precipitação anual varia de 600 mm a 2000 mm, com precipitação média anual de 1431 mm (desvio padrão de 254 mm) e aumenta aproximadamente de leste (fronteira da Caatinga semiárida) para o oeste (fronteira da floresta Amazônica) (SANO et al., 2019; SPANGLER, LYNCH; SPERA, 2017). Uma das características marcantes do Cerrado em termos de clima é sua sazonalidade climática compreendida por uma estação seca de seis meses que vai de abril a setembro e outra estação chuvosa de seis meses que vai de outubro a março (SILVA et al., 2008). Quase 100% das chuvas ocorrem na estação chuvosa, o que significa que a produção de alimentos na estação seca depende quase inteiramente da irrigação.

Nesse bioma, os solos são majoritariamente do tipo Latossolo, que, apesar de profundos e bem drenados, apresentam baixa capacidade de retenção de água em função da sua estrutura granular. Além disso, a alta saturação de alumínio em muitas áreas potencializa a toxicidade do solo, criando condições adversas para o crescimento de várias espécies vegetais, incluindo aquelas economicamente importantes (ALTHOFF; RODRIGUES, 2023). Esses fatores tornam o manejo e a fertilização do solo no Cerrado um desafio particular para agricultores e ambientalistas, o que requer a adição intensa de corretivos e fertilizantes para tornarem-se produtivos o suficiente para atender às demandas da produção agrícola moderna.

A introdução de tecnologias como a aplicação de bio-sólidos residuais de processos agroindustriais pode representar uma estratégia inovadora para superar a baixa fertilidade do solo no Cerrado, enriquecendo-o com matéria orgânica e nutrientes essenciais (BERNOUX *et al.*, 2006).

No contexto da recuperação do Cerrado, algumas espécies florestais se destacam por sua adaptabilidade ao bioma e potencial uso múltiplo, tanto na restauração de áreas degradadas quanto em aplicações econômicas. Entre elas, a Caroba Roxa (*Jacaranda macrantha*), Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*), Tamboril (*Enterolobium contortisiliquum*) e Gonçalo Alves (*Astronium fraxinifolium*) merecem atenção especial devido às suas características morfológicas e ecológicas.

A Caroba Roxa (*Jacaranda macrantha*) é uma espécie notável do cerrado pela sua copa ampla e arredondada (Figura 1), que proporciona excelente sombreamento, sendo suas folhas compostas e bipinadas que formam um tecido denso e verde escuro. Seu tronco é robusto, com casca áspera, e seus frutos, do tipo legume, são secos e lenhosos, facilitando a dispersão das sementes pelo vento (PILATTI *et al.*, 2019; BÜNDCHEN *et al.*, 2016).

Figura 1 - Fotografia que caracteriza a Caroba Roxa (*Jacaranda macrantha*).



Fonte: Cardoso (2025).

Nogueira Neto et al. (2024) observaram que a Caroba Roxa apresenta um sistema antioxidante que afere resistência a ação de herbicidas contaminantes de águas subterrâneas. Esta espécie ocorre em diferentes regiões do Brasil, predominantemente em áreas de Cerrado e Mata Atlântica. Além de sua contribuição para a biodiversidade local, é utilizada na medicina tradicional, sendo pesquisada por seu potencial para desenvolvimento de fármacos, especialmente na produção de anti-inflamatórios e antimicrobianos (GONÇALVES, 2017).

A Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*) é outra árvore (Figura 2) com importantes atributos morfológicos. Ela exibe uma copa alongada e irregular, com folhas compostas e pequenas, de textura coriácea. Seu tronco é facilmente reconhecível pela casca grossa e fissurada, e seus frutos são pequenos e vermelhos, possuindo uma semente única que se destaca no ambiente. A aroeira distribui-se principalmente nas regiões mais secas do Cerrado, adaptando-se bem a solos pobres e ácidos, característicos deste bioma (NUNES et al., 2008; ALBUQUERQUE et al., 2003).

Figura 2 - Fotografia que caracteriza a Aroeira (*Myracrodruon urundeuva*).



Fonte: Cardoso (2025).

Certos compostos bioativos presentes na espécie aroeira, como flavonoides, terpenos e taninos, já foram investigados por exercerem efeitos anti-inflamatórios, por exemplo, na inibição seletiva da fosfolipase A2, uma enzima que possui atividade pró-inflamatória (NUNES, 2008; ARAÚJO, 2017). Na literatura, há vários relatos de que o uso do extrato hidroalcoólico da aroeira melhora a cicatrização de diversas variações de condições inflamatórias e, portanto, proporciona melhores aspectos de cicatrização (MACHADO; OLIVEIRA, 2014).

O Tamboril (*Enterolobium contortisiliquum*), representado por meio da Figura 3, é membro da família Fabaceae e subfamília Mimosoideae. São árvores cuja altura excede 20 m e são comumente reconhecidas como “orelha preta” devido ao formato de seus frutos (ARAÚJO; SOBRINHO, 2011).

Figura 3 - Fotografia que caracteriza o Tamboril (*Enterolobium contortisiliquum*).



Fonte: Cardoso (2025).

Sendo uma leguminosa, o Tamboril tem altos níveis de proteínas, algumas das quais são caracterizadas como enzimas, proteínas de armazenamento e inibidores de proteinase (OLIVA et al., 2010; MACEDO et al., 2016). Diferencia-se por sua impressionante altura e copa ampla e densa. Suas folhas alternas e compostas são marcadamente sensíveis ao toque, uma adaptação que ajuda a conservar água em ambientes quentes (BATISTA et al., 1996; LIMA et al., 2007). O tronco reto e vigoroso da árvore é coberto por uma casca cinza e lisa. Já os frutos, são do tipo legume, também conhecidos como orelha-de-macaco, de aspecto coriáceo e escuro, contendo múltiplas sementes. Essa espécie é amplamente encontrada em matas ciliares e florestas secundárias do Cerrado.

Além do uso madeireiro, o Tamboril é reconhecido pela sua capacidade de fixação de nitrogênio no solo, beneficiando a reabilitação de áreas degradadas e na produção de proteínas (SILVEIRA, 2019). Seu cotilédone tem uma grande quantidade de proteínas, várias das quais, incluindo um inibidor de serina proteinase, foram caracterizadas a partir de sementes (ZHOU

et al., 2013; OLIVA et al., 1987). Os inibidores podem atuar como substratos altamente definidos para enzimas alvo, formando um complexo enzima-inibidor muito estável que se dissocia significativamente mais lentamente do que os complexos enzima-substrato ou enzima-produto com alto valor agregado (BIRK, 2003).

Gonçalo Alves (*Astronium fraxinifolium*) é uma espécie imponente com copa arredondada de folhas alternas e compostas, de um verde vibrante, sendo o tronco forte e notável por sua casca, que se descama em placas, revelando uma coloração diferenciada.

Figura 4 - Fotografia que caracteriza o Gonçalo Alves (*Astronium fraxinifolium*).



Fonte: Cardoso (2025).

Os frutos do Gonçalo Alves são drupáceos, pequenos e vermelhos quando maduros, e ele tem preferência por áreas mais secas e pedregosas do Cerrado (CONARCINI et al., 2021; LEITE et al., 2022). Essa espécie é altamente valorizada por sua madeira dura e resistente, empregada na construção civil e na decoração (MANOEL et al., 2021). Além disso, extratos de

suas cascas têm mostrado potencial em pesquisas farmacológicas devido às suas propriedades antioxidantes e leishmanicida (COSTA, 2020; BRAGA et al., 2020).

Essas espécies desempenham papéis ecológicos cruciais no cerrado. Elas não apenas fornecem habitat e alimentos para diversas formas de vida, mas também contribuem para a ciclagem de nutrientes e para a estabilização do solo (SOUZA *et al.*, 2024). A escolha dessas espécies para projetos de recuperação de áreas degradadas se justifica não só por sua adaptabilidade ao ambiente do cerrado, mas também pela sinergia entre suas características morfológicas e os requisitos ecológicos do bioma.

A compreensão detalhada das propriedades dessas árvores é fundamental para o desenvolvimento de estratégias de manejo eficazes que visam a revitalização ambiental e a produtividade sustentável (CARVALHO, 2003). Além disso, o potencial econômico dessas espécies reforça sua relevância em promover práticas de reflorestamento que sejam tanto ecologicamente válidas quanto rentáveis.

Assim, este enfoque no uso sinérgico da biodiversidade nativa não só contribui para a conservação da flora brasileira, mas também se alinha com as práticas modernas de sustentabilidade, demonstrando que é possível equilibrar os interesses econômicos e ecológicos. Essas iniciativas promovem não apenas a recuperação das savanas brasileiras, mas também uma exploração mais consciente e responsável dos seus recursos naturais.

As substâncias húmicas são componentes primários da matéria orgânica do solo, resultantes da decomposição de resíduos vegetais e animais mediada por processos biológicos e químicos complexos (OLK *et al.*, 2019). Elas são divididas em ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas, cada uma com propriedades químicas e físicas distintas que conferem benefícios ao solo e às plantas (KLEBER; LEHMANN, 2019). Sua estrutura complexa, formada por cadeias de carbono, oxigênio, hidrogênio, nitrogênio, entre outros elementos, possibilita uma grande capacidade de interação com cátions e ânions, aumentando a capacidade de troca catiônica do solo e melhorando sua fertilidade e estrutura (FERNANDES, 2019).

Nos solos, onde a acidez e a baixa fertilidade constituem desafios persistentes, as substâncias húmicas podem atenuar tais condições adversas. Elas atuam na correção da acidez do solo, complexando íons de metais pesados como alumínio, que são tóxicos para muitas plantas, e favorecem a disponibilização de nutrientes essenciais. Além disso, melhoram a capacidade de retenção de água, um aspecto crítico para a sobrevivência de plantas em áreas susceptíveis à seca do cerrado (MARTINS, 2020).

No que tange à agrossilvicultura, as substâncias húmicas têm um papel preponderante no estabelecimento de culturas mistas com árvores e arbustos, contribuindo para um sistema

mais resiliente e produtivo (CARVALHO *et al.*, 2023). Elas promovem um ambiente rizosférico saudável, estimulando a atividade microbiana benéfica e a presença de fungos micorrízicos, que ampliam a absorção de nutrientes e a tolerância a estresses hídricos e térmicos. Esse ambiente interativo é particularmente benéfico em cultivos de espécies florestais do Cerrado, como a caroba Roxa, aroeira, tamboril e Gonçalo Alves, que dependem de um solo equilibrado para seu pleno desenvolvimento nas fases iniciais da muda.

O uso de substâncias húmicas diretamente nas folhas, promovem o desenvolvimento de culturas mais robustas e resistentes, características desejáveis para as condições extremas enfrentadas no centro-oeste do Brasil.

A aplicação de substâncias húmicas em larga escala pode melhorar a produtividade agrícola, mas também servir como uma estratégia econômica viável para a recuperação de solos degradados, convertendo paisagens áridas e empobrecidas em áreas férteis e produtiva (REINCHBACH *et al.*, 2023). Além disso, a incorporação dessas substâncias pode ser um componente essencial de sistemas de produção sustentáveis baseados em princípios agroecológicos, promovendo a conservação do solo, permacultura e a viabilidade ecológica a longo prazo dos ecossistemas do Cerrado (ROCHA, 2021).

A resiliência do cerrado frente às mudanças climáticas também pode ser aumentada através do uso dessas substâncias, uma vez que a capacidade melhorada de retenção de água e a redução da lixiviação de nutrientes significam que as plantas são mais capazes de sobreviver a períodos de seca prolongada (KAUR *et al.*, 2024). Nesse sentido, as substâncias húmicas não apenas contribuem para a saúde imediata do solo e das plantas, mas também oferecem um caminho promissor para a adaptação às futuras transformações ambientais (BUSATO *et al.*, 2017).

Neste ínterim, o estudo sobre a aplicação e o mecanismo de atuação das substâncias húmicas na agrossilvicultura e, especificamente, na recuperação de biomas, não apenas avança o entendimento científico sobre interações solo-planta, mas também sustenta políticas públicas e iniciativas privadas voltadas para o manejo sustentável e manutenção das demandas ecológicas de proteção e restauração ambiental.

O enriquecimento nutricional de mudas é um fator crítico para o sucesso dos projetos de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas, especialmente no bioma Cerrado, onde a fertilidade do solo é uma questão desafiadora. A implementação de estratégias eficazes de enriquecimento pode significativamente impactar a taxa de sobrevivência das mudas, aumentar sua resistência a condições adversas e promover um ecossistema saudável e sustentável (SALES *et al.*, 2024).

No cerrado, a baixa fertilidade do solo, combinada com condições climáticas extremas, como longas estações secas e chuvas intensas concentradas em poucas semanas, impõe desafios severos às mudas plantadas. Essa realidade exige que as plantas jovens possuam reservas nutricionais adequadas desde o início de seu desenvolvimento para suportar tais condições (BUSATO *et al.*, 2020; REINCHBACH *et al.*, 2023). O desenvolvimento de mudas vigorosas e bem nutridas é, portanto, essencial para garantir que estas possam rapidamente estabelecer-se e prosperar, aumentando as chances de sucesso dos esforços de restauração.

Os ácidos húmicos, desempenham um papel significativo na promoção do crescimento das plantas por meio da melhoria da estrutura do solo, aumento da capacidade de troca catiônica e facilitação da absorção de nutrientes essenciais pelas raízes. Esse enriquecimento não apenas promove um crescimento mais rápido e saudável das mudas, mas também aumenta a sua resiliência a condições adversas, como estresse hídrico e deficiência nutricional (SOUZA, 2020).

As substâncias húmicas em aplicação foliar ou incorporadas ao substrato de plantio podem proporcionar uma série de benefícios às mudas de espécies nativas do cerrado. Elas podem melhorar características como o crescimento radicular, a área foliar e a biomassa total, influenciando positivamente o vigor inicial e a capacidade de competitividade das mudas (REINCHBACH *et al.*, 2023). Dados indicam que plantas com melhor desenvolvimento radicular são mais eficazes na exploração do perfil do solo, o que maximiza a absorção de água e nutrientes e fortalece a resistência ao estresse hídrico (CASTRO, 2019).

Os avanços nas técnicas de produção de mudas enriquecidas nutricionalmente também são coerentes com abordagens agroecológicas, que buscam integrar soluções naturais nos processos de cultivo (CRONOWN, 1993). A utilização de compostos orgânicos, como os derivados de bio-sólidos, conferem uma alternativa ambientalmente amigável e sustentável para o uso de fertilizantes químicos sintéticos, que podem ter consequências adversas a longo prazo, incluindo a degradação do solo e impactos negativos sobre a biodiversidade.

Muitos substratos comerciais (CS) para mudas de espécies arbóreas estão disponíveis no mercado, mas os viveiros nem sempre conseguem adquirir esses produtos localmente a preços acessíveis (WENDLING *et al.*, 2002). Essa realidade faz com que os produtores preparem seu substrato utilizando materiais disponíveis localmente, muitas vezes resíduos sólidos urbanos ou agroindustriais (FERMINO *et al.*, 2018).

Além disso, a produção de mudas bem nutridas tem implicações econômicas substantivas. Ao investir em técnicas que proporcionem mudas de maior qualidade, os custos relacionados à baixa sobrevivência e à necessidade de replantio são reduzidos (ROCHA *et al.*,

2014). Isso é especialmente importante em grandes projetos de reflorestamento, onde a eficiência de custos e a sustentabilidade são fatores críticos para a viabilidade a longo prazo.

O enriquecimento nutricional promove uma base sólida para a integração das mudas nos ecossistemas locais, permitindo que funções ecológicas essenciais, como a ciclagem de nutrientes e a manutenção de habitats para a fauna, sejam restabelecidas de forma mais efetiva (TORRES *et al.*, 2021). Essa integração é essencial para a construção de paisagens restauradas que não são apenas resilientes e adaptáveis a mudanças climáticas, mas também produtivas e biodiversificadas (LOPES, 2021).

2.2 Processos físico-químicos de obtenção de substâncias húmicas

As substâncias húmicas, componentes primordiais da matéria orgânica do solo, podem ser adquiridas através de complexos processos físico-químicos que refletem a sua formação natural no ambiente (TIVET *et al.*, 2013). Essas substâncias são categorizadas principalmente em ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e húminas, cada qual com características moleculares e funcionalidades únicas (DICK *et al.*, 1998). O entendimento dos processos de obtenção e caracterização desses compostos é fundamental para seu uso eficaz em práticas agroecológicas e para a melhoria das propriedades do solo.

A origem das substâncias húmicas remonta à decomposição de matéria orgânica, principalmente compondo restos vegetais e resíduos microbianos, em solos e sedimentos. Este processo envolve uma sequência complexa de reações bioquímicas e químicas que resultam na formação de compostos orgânicos de alta resistência química (RESENDE *et al.*, 2017). O processo de humusificação, como é conhecido, é mediado por microrganismos do solo que promovem a transformação de compostos simples em complexos através da polimerização de compostos fenólicos e lignina (STEVENSON, 1994).

A obtenção de substâncias húmicas para fins industriais e agrícolas geralmente utilizase de matéria-prima como turfa, lignito e carvão mineral. Processos de extração são empregados para separar os diferentes componentes húmicos, começando frequentemente com a adição de solução alcalina, como hidróxido de sódio ou potássio, ao material orgânico (CANELLAS *et al.*, 2015). Esse procedimento permite a solubilização dos ácidos húmicos e fúlvicos, retirando-os do substrato inorgânico. Posteriormente, a acidificação da solução provoca a precipitação dos ácidos húmicos, que podem ser coletados por filtração (SENESI, 1990).

Técnicas modernas de caracterização, como espectroscopia de ressonância magnética nuclear (RMN), cromatografia líquida e análise térmica, proporcionam uma visão detalhada

sobre a estrutura química das substâncias húmicas (FAÇANHA *et al.*, 2002). Esses métodos revelam a complexidade estrutural das moléculas húmicas, destacando sua capacidade de interação com elementos metálicos e minerais através de múltiplos grupos funcionais, como grupos carboxílicos, fenólicos e alcoólicos. Essa capacidade de ligação é essencial para o papel das substâncias húmicas na mobilidade e disponibilidade de nutrientes no solo.

Com relação aos ácidos fúlvicos, sua alta solubilidade em um amplo intervalo de pH os torna altamente móveis no solo, conferindo-lhes uma função distinta na translocação de nutrientes (CANELLAS *et al.*, 2015; FAÇANHA *et al.*, 2002). As húminas, insolúveis tanto em meios ácidos quanto alcalinos, representando a fração menos estudada, mas atuam fortemente na estabilização do solo e na formação de agregados. A proporção e a interação desses componentes determinam as propriedades físico-químicas tanto do húmus quanto do solo no qual está inserido (NARDI *et al.*, 2000).

O papel das substâncias húmicas na melhora do solo é amplamente reconhecido. Elas não apenas aumentam a capacidade de troca catiônica, que é crucial para a retenção de nutrientes, mas também melhoram a estrutura do solo, aeração e capacidade de retenção de água. Estudos indicam que a aplicação dessas substâncias pode levar a um aumento significativo na atividade microbiana do solo, promovendo a saúde geral do ecossistema do solo (NARDI *et al.*, 2002).

Além disso, as interações das substâncias húmicas com íons metálicos e outros poluentes potenciais os tornam úteis na remediação de solos contaminados. Por estarem naturalmente presentes e serem compatíveis com ecossistemas diversos, esses compostos oferecem uma alternativa sustentável e eficiente aos métodos tradicionais de melhoramento de solo (PICCOLO, 2002). No Cerrado, com a necessidade constante de recuperação de solos frágeis, seu uso aparece como uma estratégia viável para suportar a produtividade agrícola e a conservação do solo.

O desenvolvimento de tecnologias que expandem a utilização de substâncias húmicas reforça sua capacidade como reestruturadores do solo e fertilizantes líquidos. O acesso a esses compostos a partir de fontes renováveis e o uso de técnicas avançadas de extração e aplicação tem potencial para revolucionar as práticas de manejo sustentável do solo (SILVA;

MENDONÇA, 2007). A exploração contínua e o aperfeiçoamento nessas técnicas prometem benefícios duradouros no contexto da agricultura sustentável, especialmente em biomas sensíveis como o Cerrado.

Portanto, as substâncias húmicas são produtos valiosos do processo de decomposição natural que, quando obtidos e usados efetivamente, oferecem soluções ecológicas para melhorar

a fertilidade do solo, apoiar o crescimento saudável das plantas e promover práticas agrícolas sustentáveis. A sua compreensão e aplicação podem impulsionar significativamente a produtividade e a resiliência agrônômica em face dos desafios ambientais contemporâneos.

2.3 Tipos de substâncias húmicas e suas aplicações

As substâncias húmicas, formadas através do processo de decomposição de matéria orgânica, são classificadas essencialmente em três categorias principais: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e húminas. Cada tipo possui propriedades químicas e biológicas específicas que influenciam suas aplicações na agricultura e na gestão de solos, especialmente em um ambiente desafiador como o Cerrado brasileiro.

Os ácidos húmicos são a fração insolúvel em água em pH baixo, mas solúvel em soluções alcalinas (STEVENSON, 1994). Eles são reconhecidos por suas grandes e complexas estruturas moleculares, repletas de grupos funcionais como carboxílicos e fenólicos. Tal composição permite que eles se liguem e formem compostos quelados de íons metálicos, aumentando a capacidade de troca catiônica do solo e, portanto, a disponibilidade de nutrientes para as plantas (STEVENSON, 1994; TANK, 1998). Nos projetos de manejo de solo, os ácidos húmicos são frequentemente aplicados como melhoradores do solo, ajudando a aumentar a retenção de umidade, a aeração e contribuindo para a formação de agregados estáveis no solo.

Os ácidos fúlvicos, por sua vez, são solúveis em água em qualquer pH, graças à sua menor massa molecular e estrutura mais simples em relação aos ácidos húmicos. Isso confere a eles uma alta mobilidade no solo e uma excepcional capacidade de transporte de nutrientes (SANTOS; CAMARGO, 1999). Eles influenciam o crescimento das plantas não apenas melhorando a absorção radicular de nutrientes, mas também estimulando a atividade enzimática e os processos de fotossíntese. A mobilidade dos ácidos fúlvicos os torna ideais para uso em soluções nutritivas e como aditivos em fertilizantes líquidos, proporcionando um meio eficiente de entrega de micronutrientes essenciais diretamente aos locais de absorção radicular (LIU *et al.*, 1998).

As húminas constituem a fração húmica insolúvel tanto em ácido quanto em meio alcalino. Elas exercem um papel importante na estrutura física do solo, contribuindo para a formação de agregados e a estabilidade da matéria orgânica. Isso promove um impacto positivo na retenção de água e no aumento da porosidade do solo, críticos para a sustentação do crescimento radicular saudável.

Na prática agrícola, especialmente no Cerrado, caracterizado por solos de baixa fertilidade e acidez elevada, a aplicação de substâncias húmicas oferece diversas vantagens (RODDA *et al.*, 2006). A função tamponante destas substâncias ajuda a neutralizar a acidez do solo, e sua capacidade de complexação de metais pesados reduz a toxicidade por alumínio, um fator limitante comum em solos de Cerrado (PAVINATO, 2014). Além disso, a presença de substâncias húmicas no solo melhora a retenção de água, o que é particularmente benéfico em biomas que enfrentam estações secas prolongadas.

A aplicação de substâncias húmicas também se expande para além das práticas agrícolas tradicionais, envolvendo seu uso em sistemas de tratamento de água e solos contaminados (ROSA *et al.*, 2009). A capacidade de adsorver poluentes orgânicos e inorgânicos torna essas substâncias uma ferramenta potencial na remediação ambiental, sugerindo uma aplicação benéfica em regiões que enfrentam desafios com poluição agrícola e industrial.

Portanto, as substâncias húmicas representam um recurso valioso, não apenas apoiando o desenvolvimento agrônômico sustentável no Cerrado, mas também contribuindo significativamente para a conservação dos ecossistemas, promovendo a sustentabilidade ambiental como um todo.

2.4 Protocolos de adubação com substâncias húmicas

Os protocolos de adubação que incorporam substâncias húmicas variam conforme o tipo de cultura, as condições edafoclimáticas, e os objetivos específicos do manejo agrícola, mas todos se beneficiam de sua capacidade de potencializar a eficiência do uso de nutrientes e melhorar a saúde geral do solo.

Inicialmente, a aplicação de substâncias húmicas no solo melhora seu perfil físicoquímico. Promove-se um aumento da estrutura do solo, conseqüentemente, incrementando sua porosidade, capacidade de retenção de água e capacidade de troca catiônica, características essenciais para um solo produtivo e saudável (MARTINEZ, 2017). Além disso, a interação dos ácidos húmicos e fúlvicos com os minerais do solo ajuda a liberar nutrientes essenciais que, de outra forma, seriam indisponíveis para as plantas.

Os protocolos básicos de adubação húmica geralmente envolvem a aplicação direta de compostos húmicos no solo ou na forma de solução líquida. A incorporação das substâncias húmicas pode ser realizada de várias maneiras, dependendo do sistema de cultivo. Em culturas de campo, elas são frequentemente aplicadas ao solo juntamente com fertilizantes convencionais, onde servem como melhoradores da eficiência, reduzindo a necessidade de

fertilizantes minerais. Já em sistemas hidropônicos ou de fertirrigação, a aplicação de substâncias húmicas na irrigação facilita a mobilidade e entrega de nutrientes diretamente às raízes, otimizando o processo de absorção (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Em áreas afetadas por acidez do solo, como no Cerrado, a aplicação de ácidos húmicos tem se mostrado eficaz na complexação de íons de alumínio, diminuindo sua toxicidade para as plantas. Estudos demonstram que o tratamento com substâncias húmicas pode potencializar a disponibilidade de cálcio e magnésio, elementos críticos para contrabalançar a acidez do solo e melhorar a saúde das plantas (COSTA, 2019). Além disso, essas substâncias ajudam a controlar a lixiviação de nutrientes, mantendo-os mais tempo no solo e disponíveis para as plantas.

Os protocolos de adubação costumam ser ajustados com base em testes de solo e exigências específicas da cultura. Geralmente, eles começam com uma análise do solo para determinar o estado atual de nutrientes e as deficiências que devem ser corrigidas. Com base nos resultados nutricionais do solo, a quantidade adequada de substâncias húmicas é adicionada, considerando a capacidade de absorção das culturas e a necessidade de melhoramento contínuo do solo.

Embora o uso de substâncias húmicas seja amplamente apoiado por sua aplicação positiva na eficiência do uso de nutrientes, a personalização e adequação do protocolo de adubação é vital para garantir os melhores resultados possíveis. Algumas culturas podem responder melhor a concentrações mais altas de aplicações húmicas, enquanto outras podem não apresentar resposta significativa além de um determinado ponto.

Em suma, os protocolos de adubação que incorporam substâncias húmicas representam uma abordagem agrônoma inteligente e adaptável, que aproveita os benefícios intrínsecos desses compostos para criar sistemas agrícolas mais resilientes e produtivos (MARQUES JUNIOR *et al.*, 2008).

2.5 Produção de mudas no bioma Cerrado com substâncias húmicas

O bioma Cerrado, conhecido por sua vasta biodiversidade e solos de características desafiadoras, apresenta um cenário natural propício ao uso de tecnologias que favorecem a regeneração e o cultivo de espécies nativas. A produção de mudas *etapa* crucial para projetos de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas, pode ter seu sucesso ampliado com o uso de substâncias húmicas, que promovem melhorias significativas nas condições do solo e no desenvolvimento das plantas (MARQUES JUNIOR *et al.*, 2008).

Nas condições edafoclimáticas adversas do Cerrado, as substâncias húmicas entram como coadjuvantes nesse processo, atuando na melhoria do metabolismo das mudas e na estruturação do solo. Os ácidos húmicos, por exemplo, aumentam a porosidade do solo e sua capacidade de retenção de água, aspectos fundamentais no Cerrado, onde a escassez hídrica é uma realidade durante os meses secos (FERREIRA, 2018).

O aprimoramento do solo com substâncias húmicas também está ligado a um aumento na capacidade de troca catiônica, que é essencial para a retenção e disponibilização de nutrientes vitais às mudas em crescimento. A aplicação de ácidos fúlvicos, componentes menores e mais solúveis das substâncias húmicas, pode aumentar a absorção de nutrientes pelas raízes das mudas, proporcionando-lhes um melhor arranque inicial de crescimento. Isso é especialmente importante em um solo como o do Cerrado, onde a competição por nutrientes pode afetar significativamente o desenvolvimento das plantas e sua sobrevivência (SILVA; PEREIRA, 2019).

Um estudo realizado por Oliveira *et al.* (2020) demonstrou que mudas de espécies nativas do Cerrado, tratadas com compostos húmicos, exibiram um aumento significativo na biomassa radicular e parte aérea, comparado às que não receberam tratamento. Isso indica que substâncias húmicas podem reduzir o tempo necessário para que as mudas se estabeleçam, melhorando sua taxa de sobrevivência após o plantio em campo. Esse benefício é vital para iniciativas de reflorestamento, onde a eficiência e o custo são fatores limitantes.

Além disso, a aplicação dessas substâncias influencia positivamente a atividade microbiana benéfica no solo. As substâncias húmicas fornecem uma fonte de carbono orgânico que suporta a proliferação de microrganismos do solo, que por sua vez ajudam na decomposição de matéria orgânica e melhoria dos processos de ciclagem de nutrientes. Isso cria um ambiente solo-planta mais equilibrado e sustentável, fundamental para o sucesso a longo prazo dos projetos de plantio (RIBEIRO *et al.*, 2021).

A produção de mudas no Cerrado também enfrenta desafios adicionais relacionados à seleção de espécies adequadas e ao manejo sustentável dos viveiros. Utilizar compostos húmicos no substrato dessas mudas pode promover um crescimento mais vigoroso e resiliente, atendendo às características naturais dessas plantas e adaptando-se melhor ao replantio em solos nativos já marginalizados.

Entretanto, a tecnologia e os métodos de aplicação devem ser meticulosamente adaptados para maximizar os benefícios das substâncias húmicas na produção de mudas. Isso requer um entendimento profundo das interações solo-planta e a necessidade de protocolos

padronizados que considerem as condições específicas do local e as particularidades na fisiologia das espécies para alcançar resultados desejáveis de rendimento e sustentabilidade.

À medida que as demandas por reflorestamento e recuperação ambiental crescem, o desenvolvimento de práticas que integrem compostos húmicos representará um avanço crucial na elaboração de estratégias eficazes de manejo florestal em cenários ambientalmente sensíveis como o Cerrado

2.6 Indicadores de qualidade na produção de mudas

Na produção de mudas, especialmente em biomas diversos e ecologicamente sensíveis como o Cerrado, a avaliação da qualidade é fundamental para garantir o sucesso dos projetos de revegetação e florestamento. Indicadores de qualidade desempenham um papel crucial ao determinar o vigor e a capacidade de adaptação das mudas às condições do campo, sendo importantes na definição das melhores práticas de manejo para cada espécie e local.

A qualidade das mudas pode ser medida através de uma variedade de critérios morfológicos, fisiológicos e genéticos. Dentre os indicadores morfológicos, de altura de mudas (H), diâmetro do colo (DC), número de folhas (NF), número de folíolos (NFO), massa seca do caule (MSC), massa seca das folhas (MSF), massa seca da raiz (MSR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST), clorofila A (CLA), clorofila B (CLB), clorofila total (CLT), clorofila razão A e B (CLR), teor relativo de água (TRA), carbono interno (ci), fotossíntese líquida (A), condutância estomática (gs), transpiração (E), área foliar específica (AFE), área foliar total (AFT), índice de área foliar (IAF), índice de qualidade de desenvolvimento (IQD) são parâmetros amplamente utilizados para prever o desempenho das mudas no campo.

O diâmetro do colo, em particular, é frequentemente correlacionado com a capacidade da muda de se estabelecer em condições adversas, pois está associado à resistência da planta e à sua capacidade de armazenar reservas nutritivas (GONÇALVES *et al.*, 2015).

Um sistema radicular bem desenvolvido e ramificado permite uma melhor exploração do solo para nutrientes e água, características essenciais em solos do Cerrado, conhecidos por sua baixa fertilidade e regime irregular de umidade (ALVES; FREIRE, 2017). Mudas com sistemas radiculares robustos têm maior probabilidade de sobreviver ao transplante e de resiliência às flutuações ambientais.

Além dos indicadores morfológicos, parâmetros fisiológicos, como a eficiência fotossintética e a capacidade de uso da água, são considerados. Estes fatores indicam a

capacidade da muda de crescer sob condições estressantes, que são frequentes no Cerrado devido às variações sazonais das chuvas e temperaturas elevadas. As mudas que apresentam alta eficiência fotossintética tendem a acumular biomassa mais rapidamente e ter uma capacidade maior de resistência a condições de estresse hídrico (SILVA; CARVALHO, 2016).

Os indicadores químicos também são críticos na avaliação da qualidade das mudas. A análise do teor de nutrientes nos tecidos vegetativos pode fornecer informações essenciais sobre o estado nutricional e a potencial capacidade de crescimento das plantas (ANJOS *et al.*, 2017). Níveis adequados de nutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo e potássio, são indicativos da saúde da muda e de sua capacidade de crescimento contínuo e vigoroso após o plantio (BUSATO *et al.*, 2016; ARAUJO *et al.*, 2016)

As substâncias húmicas têm mostrado potencial para melhorar muitos desses indicadores de qualidade. Estudos indicam que a aplicação de substâncias húmicas pode melhorar a estrutura do solo e aumentar a disponibilidade de nutrientes, resultando em mudas com melhor desenvolvimento radicular e foliar (PEREIRA *et al.*, 2018). O uso de ácidos húmicos e fúlvicos, em particular, tem sido associado a um aumento no diâmetro do colo e na biomassa tanto da parte aérea quanto radicular das plantas.

Modelos de avaliação de qualidade que incorporam indicadores múltiplos, considerando assim tanto a genética quanto o ambiente de viveiro, são necessários para otimizar a produção de mudas e conectar a práticas de manejo que podem fornecer previsões mais precisas da performance futura das mudas no campo.

Portanto, a avaliação contínua e interligada de indicadores de qualidade representa uma estratégia eficaz para melhorar práticas de produção de mudas no Cerrado, permitindo a seleção e preparação de plantas mais aptas para integrar os ecossistemas em projetos de restauração. Isso não apenas aumenta a eficiência e a sustentabilidade dos projetos florestais, mas também promove a conservação da biodiversidade no bioma, incentivando práticas agrícolas e ambientais mais sustentáveis.

2.7 Produtos comerciais de substâncias húmicas

O mercado de produtos à base de substâncias húmicas tem se expandido rapidamente, refletindo o crescente reconhecimento de suas vantagens agronômicas em melhorar a produtividade e a saúde do solo. Esses produtos variados, que incluem tanto formulações sólidas quanto líquidas, são projetados para maximizar os efeitos benéficos das substâncias húmicas na agricultura, horticultura e recuperação de áreas degradadas.

Produtos como: RF Humic®, Biogain Humico®, Full- Humix®, Humic La®, podem facilmente ser adquiridos por meio de canais de e-commerce acessados on line. No entanto, informações de dosagem e de tempo de durabilidade do produto não são adequadas para formas de cultivo tradicionais, sendo necessário acompanhamento de profissional técnico.

Neste cenário, os produtos comerciais à base de substâncias húmicas são oferecidos em diversas formas, incluindo ácidos húmicos e fúlvicos, que são especialmente formulados para atender às necessidades específicas. Os ácidos húmicos são eficazes como melhoradores do solo devido à sua capacidade de aumentar a capacidade de troca catiônica, melhorar a estrutura do solo e facilitar a retenção de água. Por outro lado, os ácidos fúlvicos, devido à sua solubilidade em água e menores tamanhos de partículas, são frequentemente utilizados em sistemas de fertirrigação para melhorar a absorção de nutrientes e aumentar a eficiência do uso de fertilizantes (LEHMANN; RONDON, 2006).

Empresas destacam-se no fornecimento e desenvolvimento de produtos comerciais sofisticados que incorporam essas substâncias naturais. A combinação de ácidos húmicos e fúlvicos com micronutrientes tem demonstrado melhorar significativamente a viabilidade do solo e a saúde das plantas, oferecendo uma abordagem integrada para a fertilização ecológica (CARNEIRO *et al.*, 2011). Alguns produtos são específicos para uso em plantio de hortaliças, frutas e cultivos em larga escala, incluindo grãos e cereais, onde a eficiência do uso da água e dos nutrientes é crucial para maximizar os rendimentos (ROSA *et al.*, 2018).

Produtos de alta qualidade frequentemente se destacam pelo uso de matérias-primas superiores, como lignito e turfa, que possuem alta concentração de substâncias húmicas. A tecnologia de extração avançada garante que os produtos contenham uma elevada concentração de ácidos húmicos e fúlvicos, necessários para alcançar os resultados desejados em termos de produtividade e sustentabilidade do solo. Isso também implica uma melhora na biota do solo, estimulando a atividade microbiana benéfica que ajuda na decomposição de matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes.

Além de seu uso direto no solo, muitas formulações húmicas são projetadas para uso foliar, ampliando ainda mais suas aplicações (CARON *et al.*, 2010). Os fertilizantes foliares de ácido fúlvico são especialmente eficazes porque a aplicação direta nas folhas permite uma absorção rápida de nutrientes, o que é crucial durante os estágios críticos de crescimento das plantas. Tal aplicação é favorecida no contexto de culturas sensíveis ao estresse e de crescimento rápido, onde intervenções eficazes e eficientes são necessárias para garantir rendimentos ótimos.

Comparações de eficácia entre diferentes produtos comerciais muitas vezes giram em torno das concentrações específicas de ácidos húmicos e fúlvicos, bem como de outros componentes adicionados, como micronutrientes e compostos bioativos, projetados para aumentar a eficácia e a especificidade da aplicação (PAIVA *et al.*, 2013). Produtos de alta qualidade também são julgados pela sua compatibilidade com outros tratamentos agrícolas e pela simplicidade com que podem ser integrados aos sistemas de cultivo existentes.

Em termos de custo-benefício, os produtos à base de substâncias húmicas muitas vezes têm sido considerados investimentos vantajosos para agricultores, considerando seus benefícios a longo prazo na melhoria da qualidade do solo, aumento da retenção de nutrientes, e promoção da sustentabilidade agrícola (ZHOU *et al.*, 2017). Relatos de campo frequentemente destacam esses produtos pela capacidade de não apenas aumentar os rendimentos, mas também por melhorar a resiliência das culturas frente a estresses ambientais.

A crescente aceitação e uso desses produtos refletem um movimento mais amplo no setor agrícola em direção a práticas sustentáveis, capaz de atender às necessidades contemporâneas de produtividade sem comprometer a saúde a longo prazo dos ecossistemas naturais.

2.8 Benefícios econômicos e ecológicos do uso de substâncias húmicas

Economicamente, a integração de substâncias húmicas em sistemas agrícolas oferece uma maneira eficaz de otimizar o uso de fertilizantes e aumentar a eficiência na absorção de nutrientes pelas plantas. Estudos indicam que a fertilidade natural do solo é aprimorada pela presença de ácidos húmicos e fúlvicos, que melhoram a disponibilidade de nutrientes essenciais, como nitrogênio, fósforo e potássio, e reduzem a necessidade de fertilização química excessiva (KASCHUK *et al.*, 2010). Este efeito diminui os custos diretos de insumos agrícolas, ao mesmo tempo que melhora a estabilidade financeira das operações agrícolas através da potencialização dos rendimentos das safras.

Os benefícios ecológicos do uso de substâncias húmicas são igualmente significativos, promovendo a saúde e a biodiversidade do solo. As substâncias húmicas melhoram a estrutura do solo, aumentando sua capacidade de retenção de água e aeração, o que é particularmente benéfico em regiões susceptíveis a mudanças climáticas e variações extremas de umidade, como nas savanas. Além disso, essas substâncias auxiliam na formação de agregados de solo estáveis, reduzindo a erosão e aumentando a resistência dos solos à compactação (NARDI *et al.*, 2002).

Outro benefício ecológico significativo é o aumento da atividade microbiológica no solo. As substâncias húmicas fornecem uma fonte rica de carbono orgânico, que serve como substrato energético para as comunidades microbianas. Isso, por sua vez, facilita uma capacidade melhorada de ciclagem de nutrientes e reduz a incidência de doenças de solo através da promoção de fungos e bactérias benéficas que competem com patógenos (PICCOLO, 2002).

A sustentabilidade das práticas agrícolas que incorporam essas substâncias é crucial em biomas vulneráveis e de grande importância ecológica, como o Cerrado. A capacidade de melhorar a fertilidade do solo sem recorrer a práticas prejudiciais ao meio ambiente promove conservação, ao mesmo tempo em que responde às demandas econômicas por produtividade. Estratégias que abarcam o uso de substâncias húmicas estão de acordo com os objetivos globais de preservar a biodiversidade e proteger os recursos hídricos, contribuindo para o avanço dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pelas Nações Unidas.

Portanto à medida que as práticas agrícolas enfrentam desafios crescentes de sustentabilidade, estas substâncias emergem como componentes-chave nas estratégias de manejo agrícola, permitindo que sistemas produtivos coexistam harmoniosamente com ecossistemas naturais.

2.9 Casos de sucesso na biofortificação de espécies florestais

Um caso significativo de sucesso foi reportado na restauração de florestas temperadas na Europa. Pesquisadores observaram que a aplicação de substâncias húmicas em florestas jovens resultou em um incremento substancial na taxa de crescimento das árvores e na densidade da vegetação de sub-bosque (KACINSKI, 2017). Esses efeitos positivos foram atribuídos ao aumento na capacidade de retenção de água do solo e à elevada capacidade de troca catiônica promovida pelas substâncias húmicas, que proporcionaram um fornecimento mais eficiente de nutrientes.

No Brasil, particularmente dentro do bioma Cerrado, iniciativas de biofortificação têm se concentrado em espécies nativas. Essas iniciativas visam não apenas aumentar a taxa de sucesso dos programas de reflorestamento, mas também enriquecer os solos pobres e ácidos do Cerrado. Segundo CORRÊA; PEREIRA (2018), a incorporação de ácidos húmicos e fúlvicos no manejo do solo promoveu uma melhora significativa na sobrevivência e vigor das mudas plantadas, facilitando um crescimento mais rápido e saudável em áreas antes consideradas de difícil recuperação (CORRÊA; PEREIRA, 2018).

Na Ásia, o uso de produtos à base de substâncias húmicas no reflorestamento de regiões montanhosas demonstrou aumentar a resistência das florestas plantadas a condições adversas, incluindo seca e solo pobre em nutrientes. Em um estudo conduzido nas encostas desgastadas do Himalaia, a introdução de compostos húmicos favoreceu a retenção de umidade no solo e estabilizou a estrutura do mesmo, reduzindo a erosão (SHARMA *et al.*, 2019). Tais resultados ilustram o potencial das substâncias húmicas em promover a resiliência ecológica de áreas sujeitas a extrema degradação.

Outro exemplo de sucesso pode ser identificado na América do Norte, onde projetos de biofortificação utilizando ácidos húmicos ajudaram na revitalização de floresta de coníferas em solos ácidos devido à mineração. As substâncias húmicas foram instrumentais na neutralização da acidez do solo, permitindo a reintrodução gradual de espécies nativas e o estabelecimento de um ecossistema florestal saudável (JOHNSON; SULLIVAN, 2020).

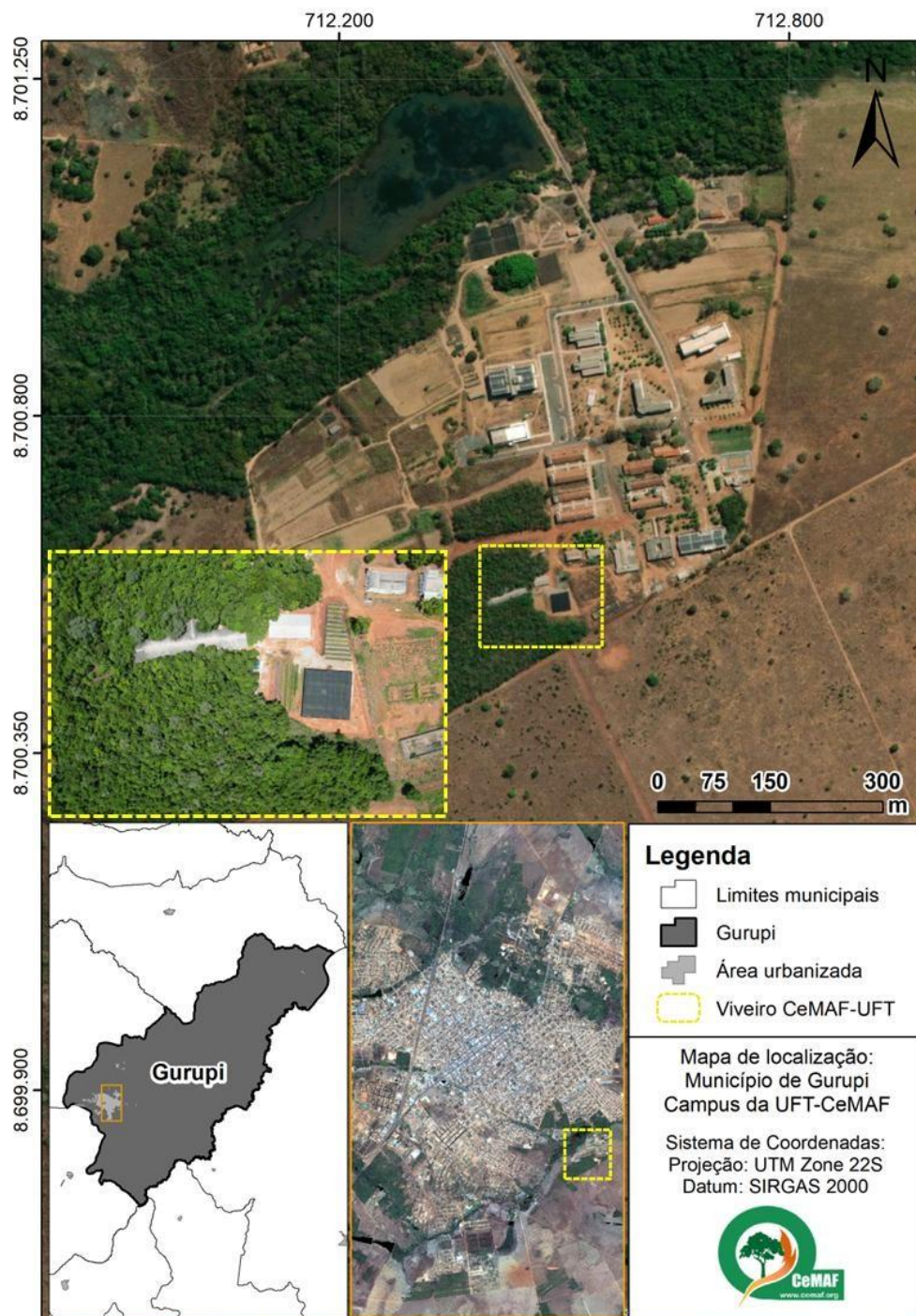
As práticas de biofortificação não apenas promovem a produtividade e saúde das florestas, mas também desempenham um papel crítico na mitigação das mudanças climáticas ao aumentar a capacidade de sequestro de carbono das florestas restauradas (de OLIVEIRA LIMA *et al.*, 2018). A implementação de biofortificação através de substâncias húmicas também se alinha aos esforços globais por sustentabilidade e conservação da biodiversidade. Ao otimizar o crescimento e a saúde das plantas em ambientes outrora desfavoráveis, estas práticas sustentáveis garantem que as paisagens restauradas possam continuar a desempenhar suas funções ecológicas fundamentais.

3 METODOLOGIA

3.1 Local do estudo

O experimento foi conduzido no Viveiro Florestal do Centro de Monitoramento Ambiental e Manejo do Fogo (CEMAF), Campus de Gurupi, da Universidade Federal do Tocantins (UFT), localizado no município de Gurupi, Tocantins (Figura 5).

Figura 5 - Mapa de localização da área de estudo (Viveiro CEMAF-UFT).



Fonte: Cardoso (2025).

De acordo com a classificação de Köppen o clima do município de Gurupi/TO é tropical úmido com estação chuvosa no verão e seca no inverno (ALVARES, 2013). Ao longo do ano, em geral a temperatura varia de 19 °C a 36 °C. A precipitação média anual dos últimos 30 anos é de 1733 mm.

3.2 Procedimentos metodológicos

Para o plantio das sementes utilizou-se de tubetes de plástico, que foram preenchidos com substrato para plantas, adquirido no comércio local. O substrato era composto por turfa, vermiculita expandida, casca de pinus e carvão vegetal. A mistura que preenchia os tubetes foi composta de 35% de substrato comercial, 35% de terra, 15% de esterco e 15% de palha de arroz carbonizada.

A semeadura foi efetuada colocando-se duas a três sementes em cada recipiente. Em seguida, as bandejas foram levadas à casa de vegetação, onde permaneceram por 60 dias. Com 40 dias, procedeu-se o descarte das mudas mais debilitadas, permanecendo a mais vigorosa e centralizada no recipiente.

Aos 60 dias procedeu-se a diminuição da densidade das mudas na bandeja em 50%, passando da densidade inicial de 400 plantas/m² para 200 plantas/m² (Figura 6). Neste momento, as mudas foram colocadas em área de aclimatação a pleno sol, até o momento das avaliações que ocorreram ao final de 100 dias. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com 6 tratamentos para 4 espécies e 2 mudas para 5 repetições.

Figura 6 - Mudanças das espécies avaliadas no Viveiro CRAD/CEMAF.



Fonte: Cardoso (2025).

Doses de bioestimulante a base de ácido húmico enriquecido com micronutrientes foram utilizadas para complementar a nutrição das mudas. A fonte de ácido húmico (Humix) utilizada nesse experimento foi extraída a partir de composto orgânico alternativo, sendo caracterizada da seguinte forma: 1 dag.kg⁻¹ de N e 2,5 dag.kg⁻¹ de C orgânico. Os teores de carbono orgânico e nitrogênio total do ácido húmico foram determinados segundo Mendonça e Matos (2005).

Cada tratamento foi constituído por 5 repetições, contendo 2 plantas em cada repetição. Os recipientes utilizados foram tubetes plásticos de seção circular, sendo o volume total 280 cm³. As doses do bioestimulante experimental Humix/UFT, caracterizado na tabela 1 foram crescentes em ordem de 0,0; 0,60; 1,20; 1,80; 2,40 e 3,00 mililitros por tubete como sugerido por Frade Junior (2011). O monitoramento contínuo das plantas e do solo faz parte integrante da metodologia, com o objetivo de adaptá-la às respostas observadas.

A Tabela 1 apresenta a composição química do biofertilizante utilizado neste estudo para a biofortificação de mudas nativas do cerrado.

Tabela 1 - Composição elementar do bio-sólido Humix

Variável	Humix1(ppm)	Humix2(ppm)	Humix3(ppm)	Média±desv. pad.
Zn	83,76	89,68	93,29	88,91±4,81
B	258,42	332,61	378,60	323,21±60,63
Fe	17,95	20,13	22,46	20,18±2,25
Cu	147,07	147,08	185,21	159,78±22,01
Co	0	0	0	0
Ni	0	0	0	0
Mo	0,51	0,78	0,56	0,61±0,14
Mn	3,31	3,11	4,13	3,51±0,54
Li	0,03	0,03	0,04	0,03±0,005
Mg	24,78	23,72	27,21	25,23±1,78
Ca	115,84	111,43	147,9	125,05±19,90
Na	826,38	673,26	849,42	783,02±95,75
K	6600,51	5716,88	7063,28	6460,22±684,07
P	0,004	0,005	0,005	0,004±0,0005

Resultados obtidos por espectroscopia de emissão atômica por plasma indutivamente acoplado induzido por microondas MP-AES marca Agilent®.

Fonte: Cardoso (2025).

Os parâmetros de qualidade de mudas em viveiro foram avaliados segundo Viegas (2015), sendo: diâmetro inicial, diâmetro final, peso seco, peso parte aérea, peso da raiz, altura final e altura inicial (Figura 7). As análises químicas (Figura 8) foram realizadas em equipamento de Plasma Indutivamente Acoplado induzido por micro-ondas MP-AES da Agilent com base em Siqueira (2022).

Figura 7 - Exemplificação dos procedimentos de medição de altura das mudas e remoção da raiz para análises.



Fonte: Cardoso (2025).

Figura 8 - Raízes das espécies estudadas em solução para análises químicas.



Fonte: Cardoso (2025).

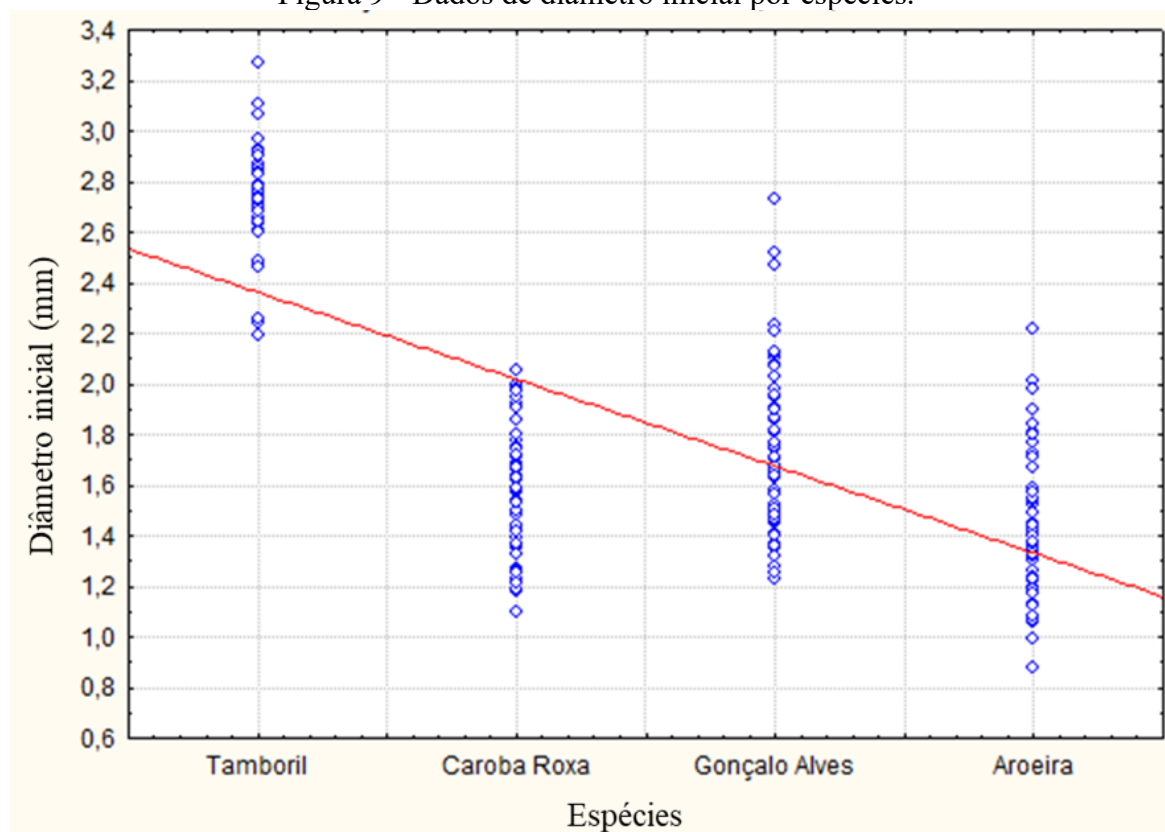
A análise dos dados, bem como a confecção dos gráficos, foi realizada no pacote estatístico Statistica® da StatSoft.

4 RESULTADOS E ANÁLISE

Na Figura 9 estão apresentados os dados de diâmetro inicial por espécies medidos neste experimento. Observa-se que as espécies apresentaram variações significativas no diâmetro inicial, indicando diferenças intrínsecas no crescimento inicial entre elas. A Caroba Roxa e o

Tamboril mostraram diâmetros iniciais maiores em comparação com a Aroeira e o Gonçalo Alves, sugerindo que essas espécies possuem um crescimento inicial mais vigoroso. Essas diferenças podem estar relacionadas às características morfológicas e fisiológicas de cada espécie, como a capacidade de armazenamento de reservas nas sementes ou a eficiência na absorção de nutrientes.

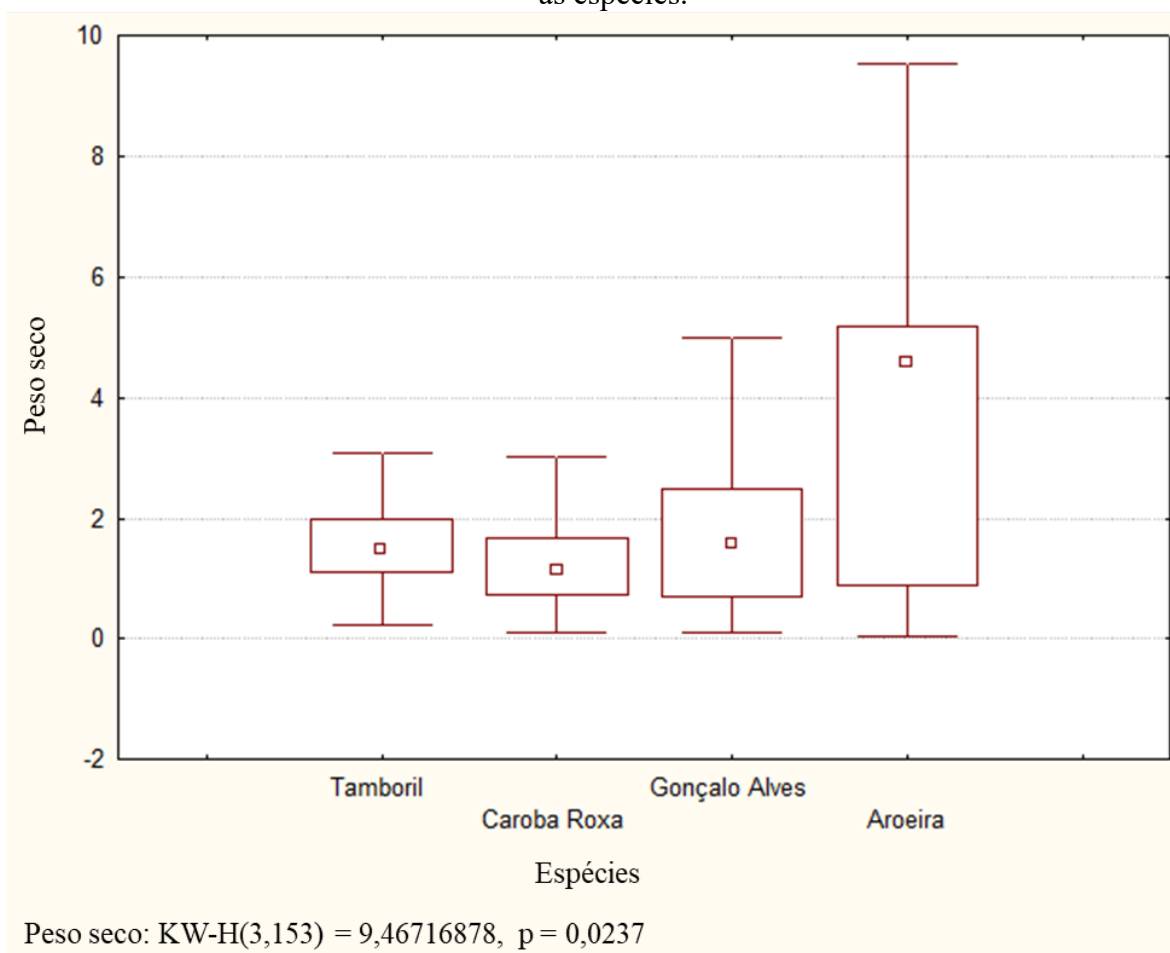
Figura 9 - Dados de diâmetro inicial por espécies.



Fonte: Cardoso (2025).

A variação dos dados de peso seco está na Figura 10, onde os diagramas de Box-plot no teste de Kruskal-Wallis indicaram diferenças significativas ($p=0,0025$), com a Caroba Roxa e o Tamboril apresentando os maiores valores de peso seco. Isso sugere que essas espécies acumularam mais biomassa durante o período de crescimento no viveiro. O Gonçalo Alves, por outro lado, apresentou o menor peso seco, o que pode estar relacionado à sua menor taxa de crescimento inicial ou à menor eficiência na utilização dos nutrientes disponíveis no substrato.

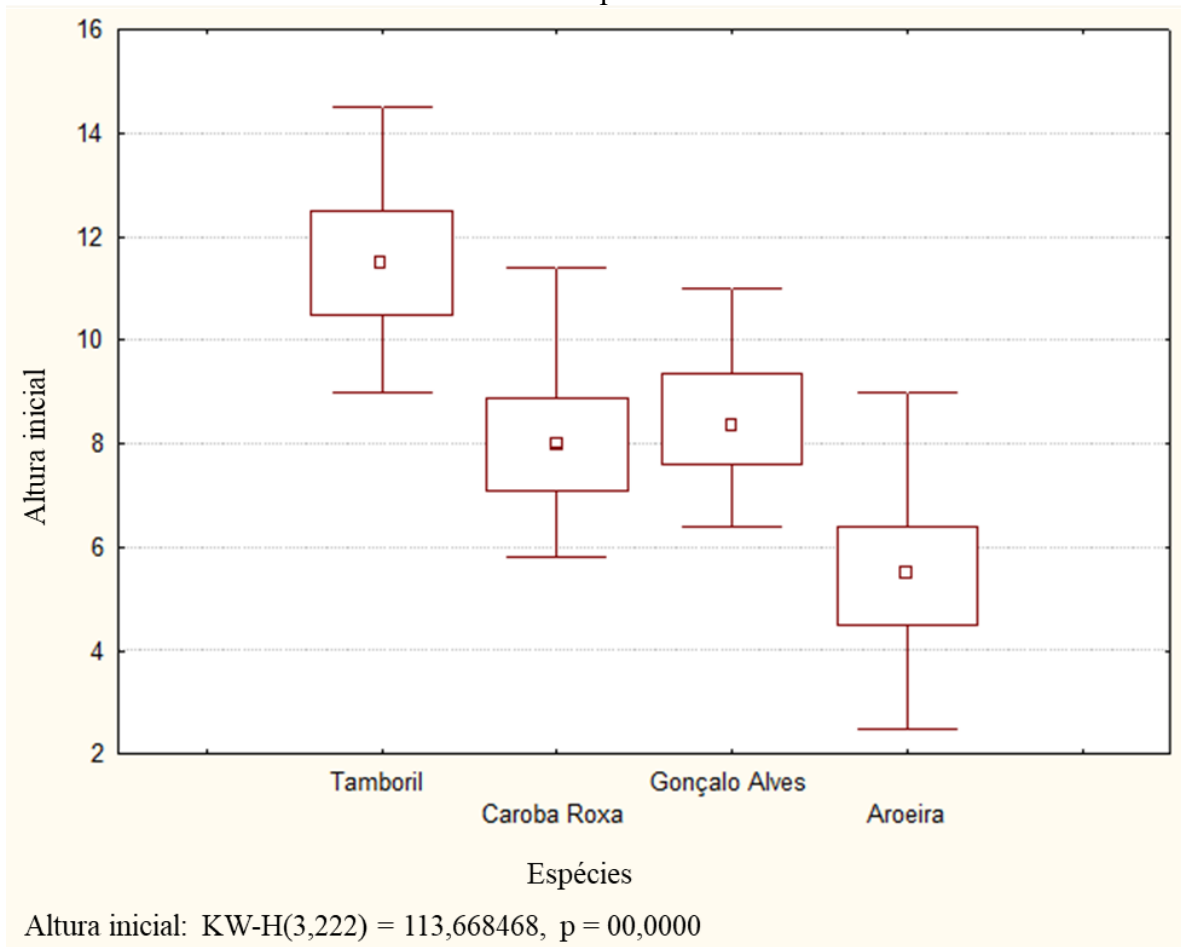
Figura 10 - Diagramas de Box-Plot para o peso seco com diferença significativa entre as espécies.



Fonte: Cardoso (2025).

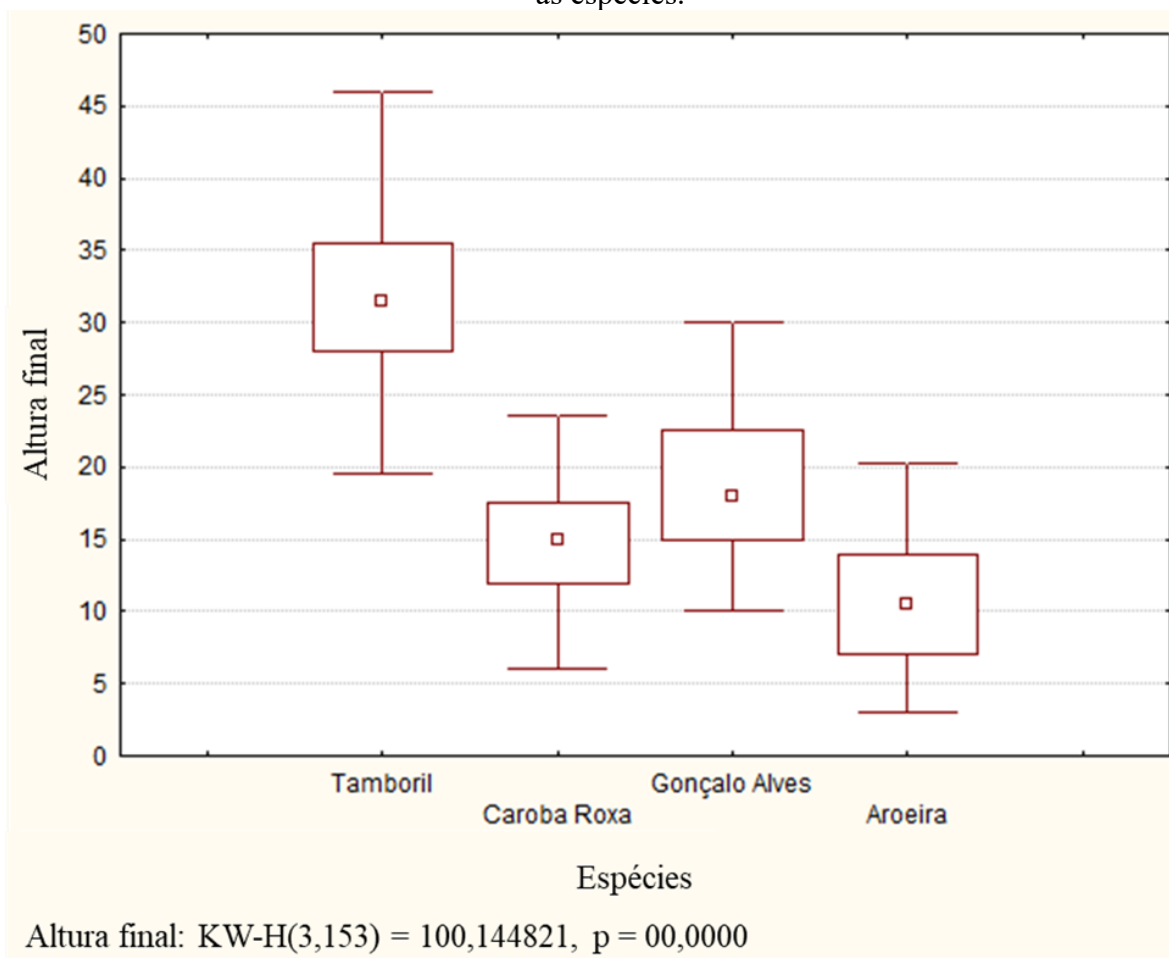
A análise das variáveis altura inicial e final constam nas Figuras 11 e 12, respectivamente. No tocante à variável altura inicial, a Caroba Roxa e o Tamboril novamente se destacaram com maiores alturas iniciais. Esses resultados demonstram que algumas espécies possuem um crescimento inicial mais acelerado, o que pode ser vantajoso em projetos de reflorestamento, onde a rápida cobertura do solo é desejável. Quanto à altura final, a Caroba Roxa manteve a liderança em termos de altura. No entanto, o Tamboril apresentou um crescimento menos expressivo em comparação com sua altura inicial, sugerindo que essa espécie pode ter uma taxa de crescimento mais lenta após o estabelecimento inicial. A Aroeira e o Gonçalo Alves continuaram com alturas menores, indicando que essas espécies podem exigir mais tempo para atingir um desenvolvimento pleno.

Figura 11 - Diagramas de Box-Plot para altura inicial com diferença significativa entre as espécies.



Fonte: Cardoso (2025).

Figura 12 - Diagramas de Box-Plot para altura final com diferença significativa entre as espécies.

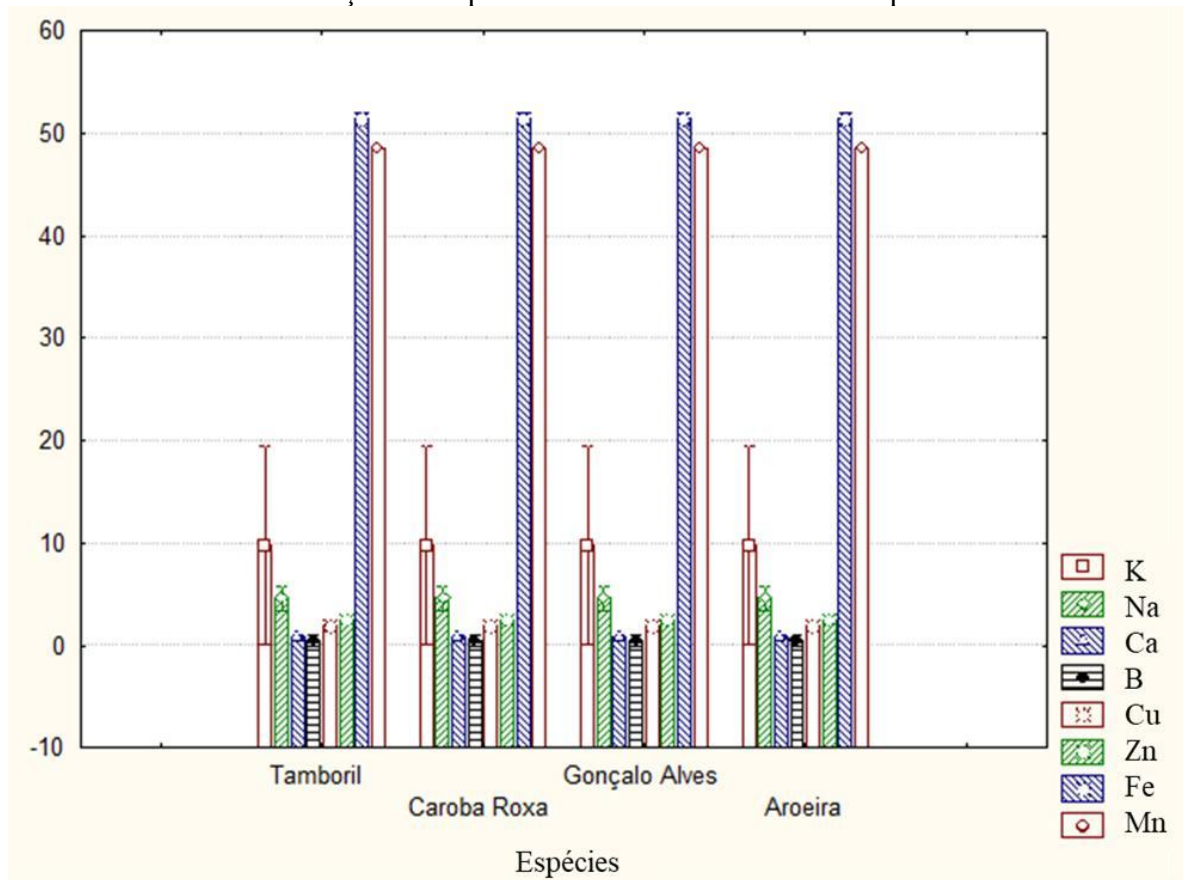


Fonte: Cardoso (2025).

Análises não paramétricas dos dados mostram correlações de Spermán Rank entre tratamentos e espécies estudadas. Houve correlação direta entre espécie e disponibilidade de Mn ($R= 0,279751$ e $p=0,000011$), bem como correlação direta entre tratamento e a disponibilidade de Mn ($R=0,305234$ e $p=0,000001$). Esses resultados corroboram com os estudos realizados por MENDONÇA *et al.* (1999) que destacaram a atuação do Mn como ativador de enzimas e no envolvimento de processos de oxidação e redução no transporte de elétrons e na formação de vários metabólitos.

Na Figura 13 observa-se os efeitos da disponibilidade de nutrientes nas variáveis de crescimento das mudas por espécie são significativos apenas para as concentrações de Mn pelo teste de Kruskal-Wallis ($p=0,000008$). Por outro lado, há uma correlação inversa entre espécie e diâmetro final ($R= 524601$ e $p=0,000020$), bem como uma correlação direta entre tratamento e densidade ($R=0,181612$ e $p=0,024196$). Em todos os ensaios foi significativo o aumento de mortes das mudas no tratamento de maior concentração de Humix.

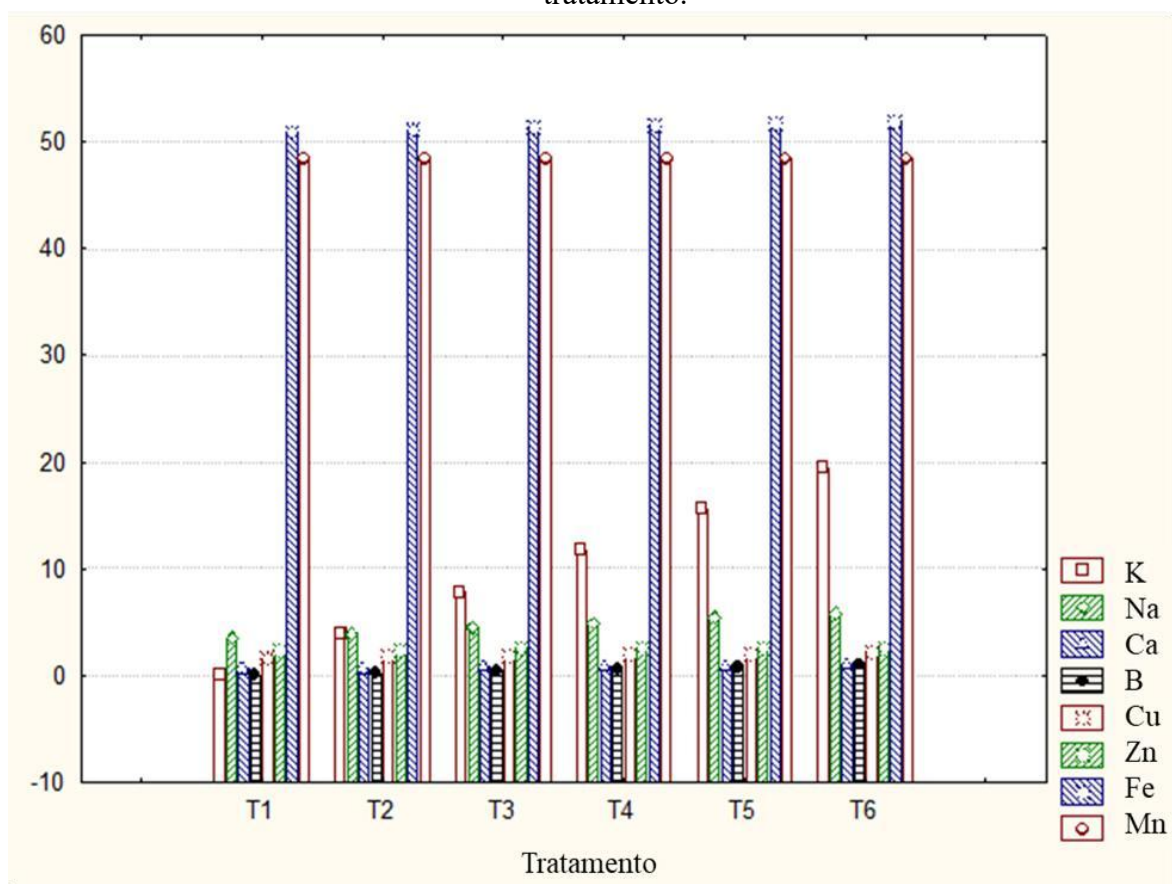
Figura 13 - Diagrama de Box plot dos efeitos da disponibilidade de nutrientes nas diferenças de respostas de crescimento entre as espécies.



Fonte: Cardoso (2025).

A Figura 14 apresenta a resposta da disponibilidade de nutrientes ao tratamento e foi significativa para todos os nutrientes exceto Ni e Li pelo teste de Kruskal Wallis ($p=0,0000002$). O tratamento com maior concentração de Humix (3,00 mL) resultou em maior disponibilidade de nutrientes como Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Potássio (K).

Figura 14 - Diagrama de Box plot dos efeitos da disponibilidade de nutrientes em cada tratamento.



Fonte: Cardoso (2025).

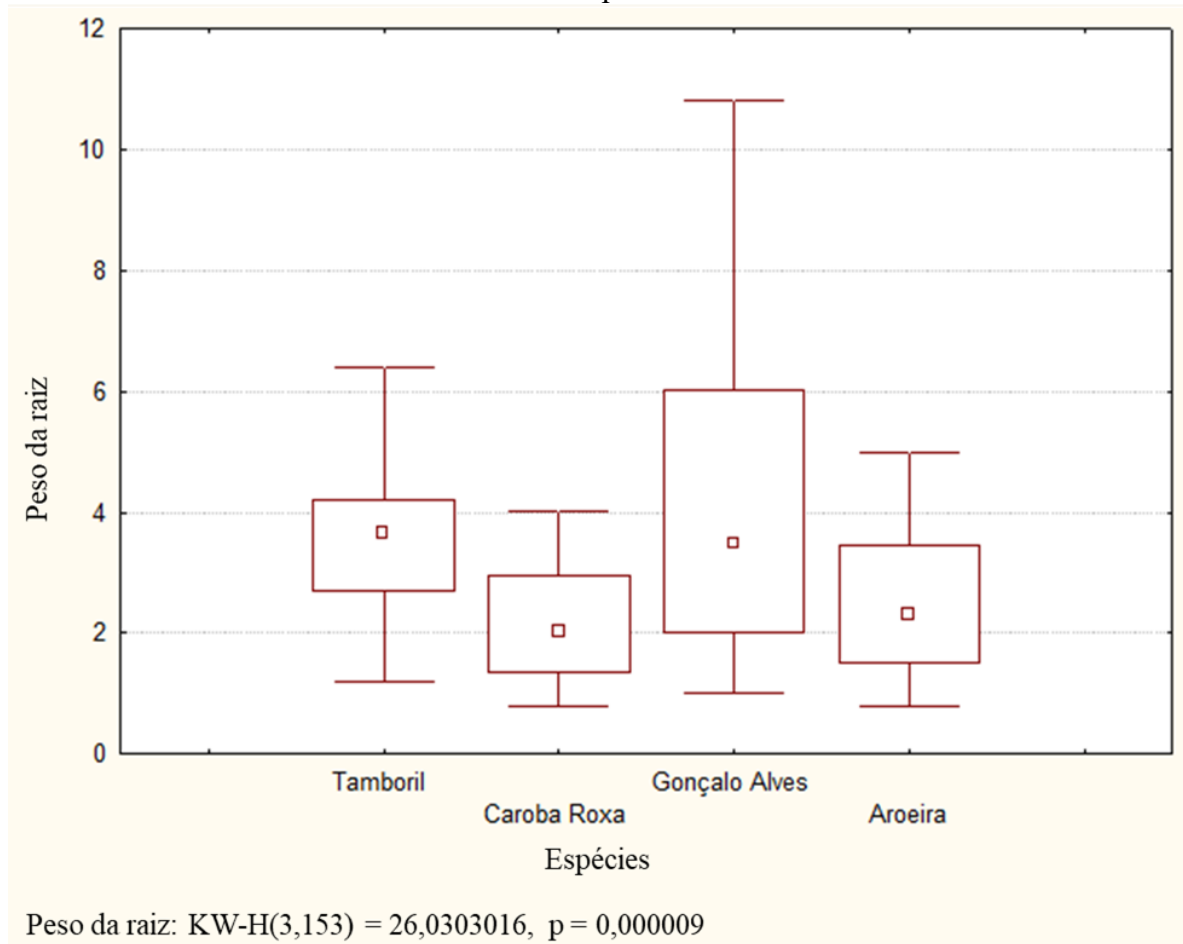
Siqueira (2022) obteve em um dos tratamentos para produção de mudas nativas um melhor resultado com uso de substrato feito a partir de resíduo agroindustrial com respostas mais significativas para disponibilidade de Na, Fe, Cu e Mg. No entanto, Alves e Freire (2017) observaram maiores respostas a disponibilidade de nutrientes com o uso de substrato comercial Plantmax® em 120 dias de semeadura.

Felfili (2007) e Kratz *et al.* (2013) ressaltam a relevância da homogeneidade e tempo de conservação do bioinsumo de origem agroindustrial na disponibilidade de nutrientes para espécies florestais, bem como o viés de sustentabilidade em comparação aos substratos comerciais.

As análises de peso da raiz, com diferenças significativas entre as espécies, demonstradas por meio da Figura 15, apresenta a Caroba Roxa e o Tamboril novamente se destacando com maiores pesos radiculares, indicando um sistema radicular mais desenvolvido. Isso é particularmente importante para a sobrevivência das mudas em campo, pois um sistema radicular robusto permite uma melhor absorção de água e nutrientes, especialmente em solos

pobres e ácidos do Cerrado. A Aroeira e o Gonçalo Alves apresentaram pesos radiculares menores, o que pode limitar sua capacidade de estabelecimento em condições adversas.

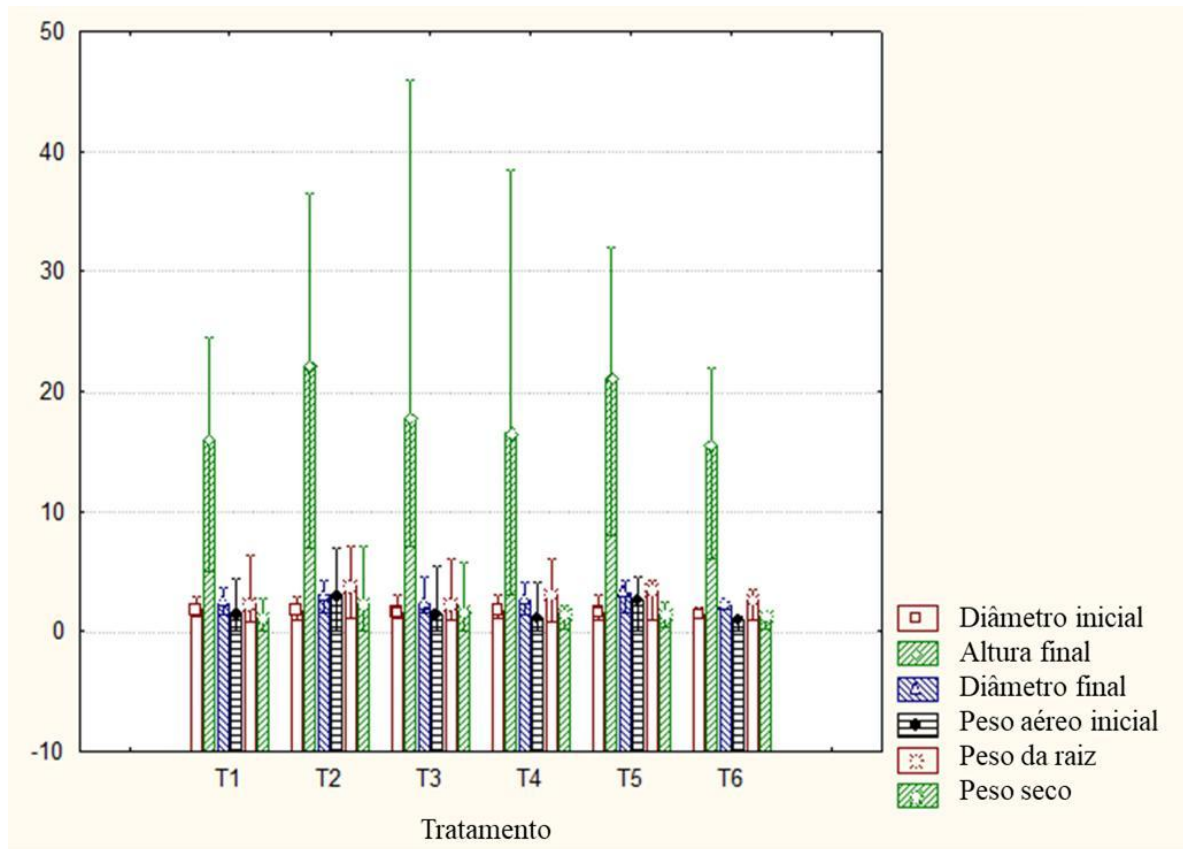
Figura 15 - Diagramas de Box-Plot para peso da raiz com diferença significativa entre as espécies.



Fonte: Cardoso (2025).

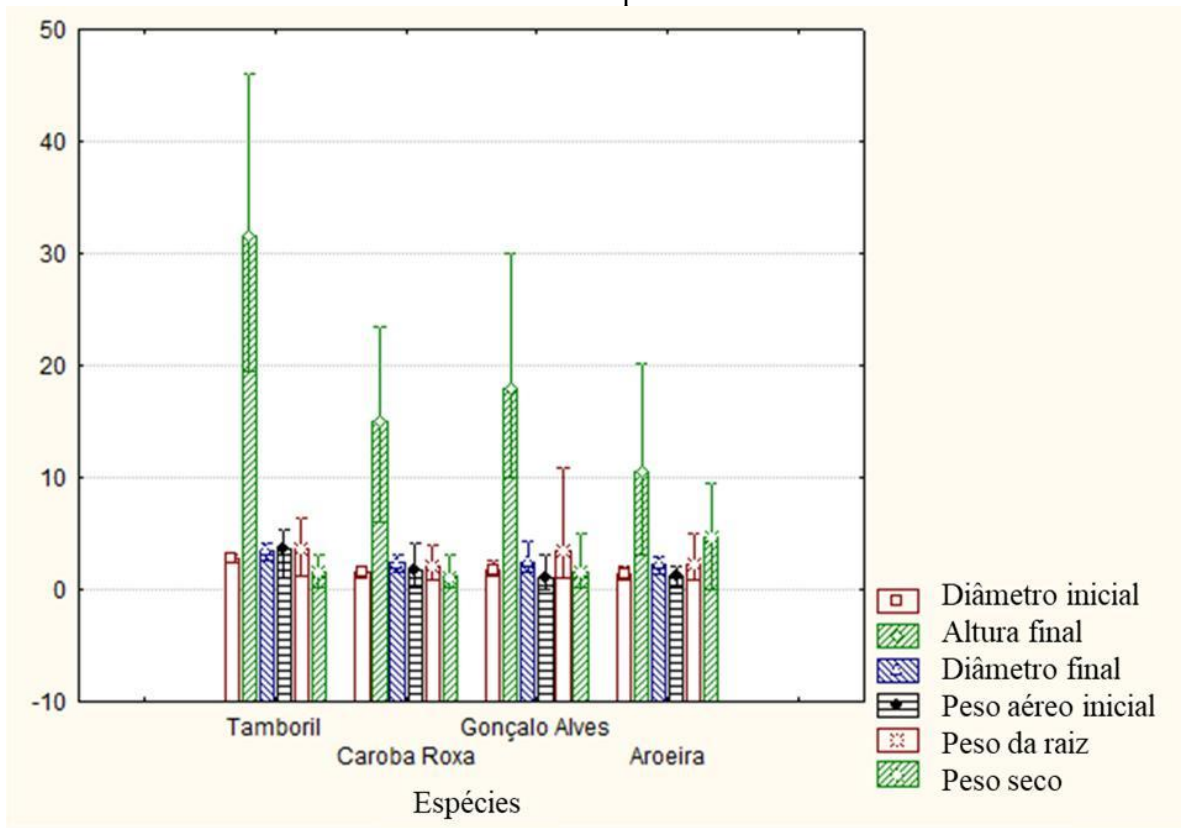
Segundo Araújo et al. (2018), os vários parâmetros morfológicos utilizados neste estudo, permitem inferir consideravelmente a qualidade das mudas ainda no viveiro. No teste de Kruskal Wallis as variáveis diâmetro inicial, altura final, diâmetro final, peso aéreo inicial, peso da raiz e peso seco apresentam diferenças significativas entre os tratamentos ($p=0,000012$), com os tratamentos de 1,20 e 1,80 mL de Humix apresentando os melhores resultados. Esses tratamentos promoveram um equilíbrio entre o fornecimento de nutrientes e a ausência de toxicidade, resultando em mudas mais vigorosas e com maior taxa de sobrevivência. O mesmo teste estatístico foi realizado considerando as diferentes espécies e se obteve diferença significativa ($p=0,000006$) como evidenciado na Figura 17.

Figura 16 - Diagrama de Box-plot dos efeitos das variáveis de qualidade de muda em cada tratamento.



Fonte: Cardoso (2025).

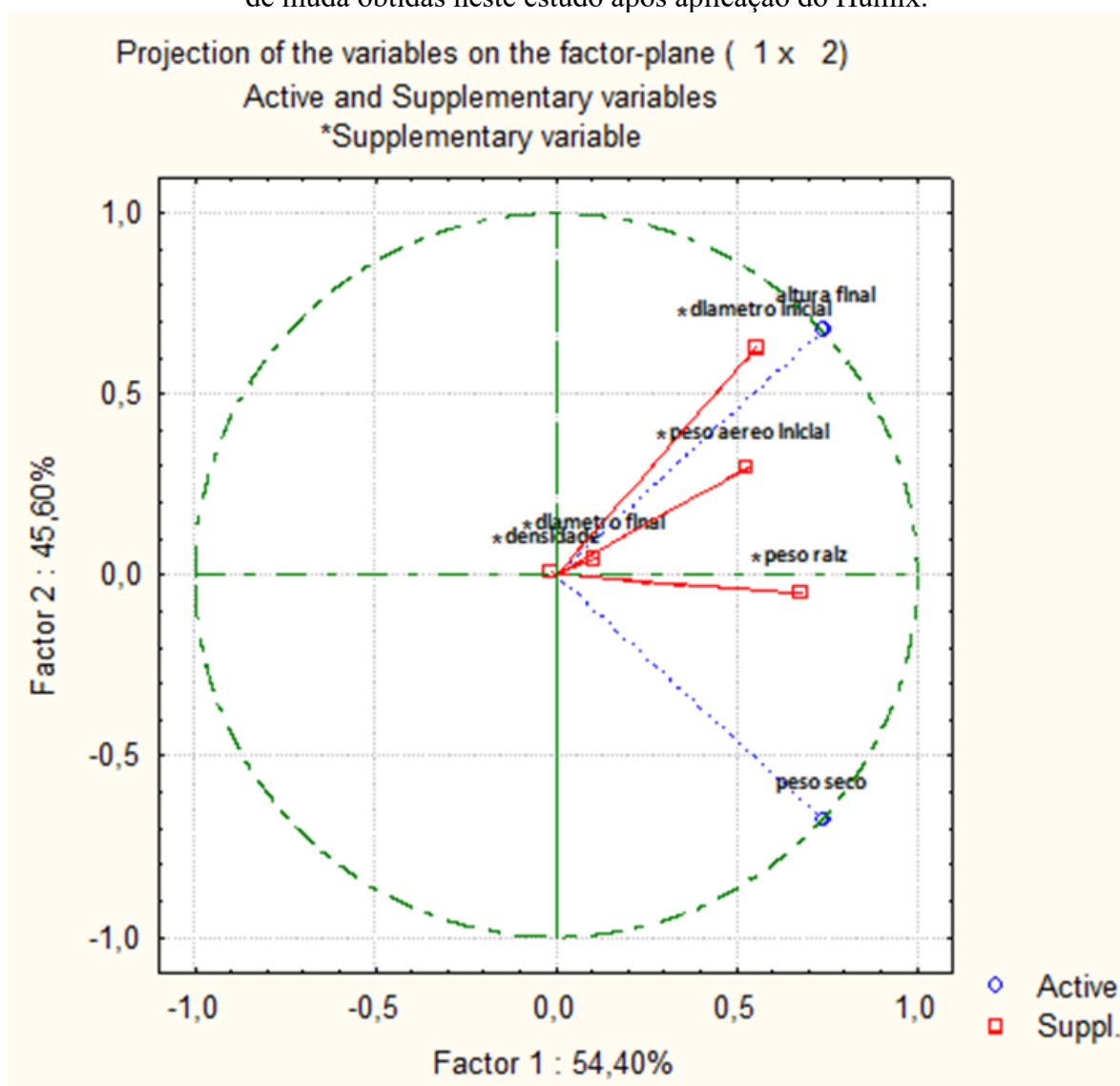
Figura 17 - Diagrama de Box-plot dos efeitos das variáveis de qualidade de muda em cada espécie.



Fonte: Cardoso (2025).

Conforme a Figura 18, que apresenta uma análise de componentes principais (PCA) das variáveis de qualidade das mudas, verifica-se que as variáveis mais influentes para a qualidade das mudas foram o peso seco, o peso da raiz e a altura final. Esses parâmetros estão diretamente relacionados ao vigor das mudas e à sua capacidade de estabelecimento em campo. A Caroba Roxa e o Tamboril foram as espécies que mais se destacaram nessas variáveis, enquanto a Aroeira e o Gonçalo Alves apresentaram desempenho inferior.

Figura 18 - Análise de Componentes Principais das variáveis indicativas de qualidade de muda obtidas neste estudo após aplicação do Humix.



Fonte: Cardoso (2025).

O Humix é um produto em processo de obtenção de patente, oriundo do descarte de resíduos agroindustriais, rico em macro e micronutrientes. No entanto não apresenta concentrações de fósforo consideradas adequadas ao desenvolvimento de mudas. De acordo com Siqueira (2022) esse macronutriente é o elemento principal responsável pelo desenvolvimento radicular e absorção de água.

As concentrações de nitrogênio obtidas das diluições e tratamentos aplicados nas mudas não tem qualquer diferença significativa, evidenciando a importância de homogeneização do bioinsumo e controle no tempo adequado de aplicação após extração de substâncias húmicas (VIEGAS *et al.*, 2004). Esses macronutrientes influenciam diretamente no crescimento em altura, diâmetro do coleto e número de folhas, no entanto, espécies nativas do cerrado passam

por longos períodos de seca em campo (ARAÚJO, 2021), o que não foi possível avaliar em viveiro, pois o experimento era irrigado automaticamente 5 vezes ao dia durante seis minutos. Do mesmo modo não há informações suficientes para afirmar se houve excesso de irrigação ou mortandade de mudas pelo aumento da concentração de Humix nos tratamentos.

A eficácia observada na biofortificação das mudas pode ser amplamente atribuída às propriedades únicas dos ácidos húmicos e fúlvicos, reconhecidos por suas complexas estruturas químicas ricas em grupos funcionais, como carboxílicos e fenólicos. Esses grupos permitem a complexação e a liberação controlada de nutrientes, potencializando a disponibilidade destes para absorção pelas plantas. Estudos anteriores também destacam que a capacidade dos ácidos húmicos de incrementar a capacidade de troca catiônica do solo facilita a mobilização de cátions essenciais para as plantas, como cálcio, magnésio e potássio, melhorando substancialmente a qualidade nutritiva do solo (CHEN *et al.*, 2004).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstraram que as concentrações de 1,20 e 1,80 ml promoveu aumento da biomassa radicular e aérea, além de melhorar a altura e o diâmetro das mudas das espécies nativas.

Tamboril e Gonçalo foram as espécies que promoveram maior desenvolvimento com as concentrações de 1,20 e 1,80 ml e a Caroba Roxa e a Aroeira promoveram maior mortalidade.

Os nutrientes ferro, manganês e potássio obtiveram maior incremento na concentração de 3,00 ml.

4.1 Contribuições da dissertação

Uma das hipóteses secundárias do estudo foi confirmada, pois a aplicação de ácido húmico aumentou a capacidade de retenção de água no substrato, reduzindo o estresse hídrico das mudas durante a estação seca. Esse efeito é particularmente relevante no Cerrado, onde a sazonalidade climática impõe longos períodos de seca.

A aplicação de ácido húmico também demonstrou estimular a atividade microbiana do solo, favorecendo a ciclagem de nutrientes e a disponibilização de elementos essenciais para o crescimento das plantas. Esse efeito é crucial para a recuperação de solos degradados, pois a atividade microbiana é fundamental para a decomposição da matéria orgânica e a liberação de nutrientes no solo.

Outra hipótese confirmada foi a de que o uso de ácido húmico em mudas de espécies nativas do Cerrado resulta em maior resistência a condições adversas, como a presença de alumínio tóxico no solo. O ácido húmico demonstrou capacidade de complexar íons de alumínio, reduzindo sua toxicidade e melhorando a disponibilidade de nutrientes essenciais, como cálcio e magnésio.

4.2 Limitações e desafios

Apesar dos resultados positivos, o estudo também identificou algumas limitações. Em concentrações mais elevadas de ácido húmico, observou-se um aumento na mortalidade das mudas, sugerindo que doses excessivas podem ser prejudiciais. Além disso, a ausência de fósforo em concentrações adequadas no bioinsumo Humix pode limitar o desenvolvimento radicular das mudas, destacando a necessidade de ajustes na formulação do produto. Outro

desafio foi a homogeneização do bioinsumo, que pode afetar a consistência dos resultados em diferentes tratamentos.

4.3 Recomendações para pesquisas futuras

Com base nos resultados obtidos, recomenda-se que pesquisas futuras explorem a aplicação de ácido húmico em condições de campo, avaliando seu impacto no estabelecimento e crescimento de espécies nativas em áreas degradadas. Além disso, estudos adicionais podem investigar a combinação de ácido húmico com outros bioinsumos e fertilizantes orgânicos, visando otimizar a nutrição das mudas e a recuperação do solo. A padronização dos protocolos de aplicação e a avaliação dos efeitos a longo prazo do uso de substâncias húmicas também são áreas de trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, S. P.; SILVA, J. F. C. **Plantas do Cerrado: Ecologia e Manejo Sustentável**. Brasília: EMBRAPA, 2018.

CAMPOS, M. C. C. *et al.* Influence of Soil Attributes and Landscape Position on the Spatial Distribution of Histic Oxisols in the Cerrado. **Geoderma**, v. 259, p. 132-142, 2018.

CHEN, Y.; AVNIMELECH, Y. *The Role of Organic Matter in Modern Agriculture*. Dordrecht: **Springer**, 2004.

COSTA, M. da G.; ANDRADE, C. A. Substâncias Húmicas no Crescimento de Espécies Nativas. *Rev. Bras. Biofortificação*, v. 4, n. 2, p. 65-72, 2019.

GONÇALVES, J. L. de M. *et al.* Soil Organic Matter and Fertility for Environmental and Productive Sustainability. **Scientific Agricultural**, v. 72, n. 1, p. 2-34, 2015.

MARCOS, A. S. S.; SILVA, N. R. C. Integração de Tecnologias Agroecológicas no Manejo Sustentável. **Agroecologia**, v. 6, p. 112-125, 2017.

OLIVEIRA, C. *et al.* Usage of Humic Substances for the Enhancement of Plant Growth in Dry Soils. **Journal of Agronomy Science**, v. 9, p. 44-52, 2018.

PEREIRA, E. I. *et al.* Biofortificação com Compostos Orgânicos em Áreas de Cerrado: Uma Estratégia Sustentável. **Ecology and Environment**, v. 3, n. 1, p. 78-90, 2019.

SILVA, M. A. S.; PEREIRA, W. L. E. Humic Substances for Enhancing Fertility in Tropics: A Review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 102, p. 3-12, 2019.

ZIMMERMANN, M. *et al.* **Advances in Humic Substances Research: Impact on Agriculture**. *Agroalimentaria*, v. 26, n. 2, p. 100-115, 2020.

ALTHOFF, D.; RODRIGUES, L.N. Recursos hídricos superficiais no Cerrado. In **Agricultura Irrigada no Cerrado: Subsídios para o Desenvolvimento Sustentável**; Rodrigues, L.N., Ed.; Embrapa: Brasília, DF, Brazil, Chapter 4; pp. 92–113, (2023).

HOSONO, A., HAMAGUCHI, N., BEJANIC, A. **The spatial economics of agricultural development and the formation of agroindustrial value chains: The Brazilian Cerrado** (pp 1-17) Singapore: Springer Singapore, 2019.

LAPOLA, D. M., MARTINELLI, L. A., PERES, C. A., ONETTO, J. P. H. B., FERREIRA, M. E., NOBRE, C. A., VIEIRA, J. C. G... Pervasive transition of the Brazilian land-use system. **Nature Climate Change**, 4,27-35, 2014.

SIQUEIRA-NETO, M., POPIN, G. V., PICCOLO, M. C., CORBELS, M., SCOPEL, E., CAMARGO, P. B., BERNOUX, M. Impacts of land use and copland management on soil organic matter and greenhouse gas emissions in the Brazilian Cerrado. **European Journal of Soil Science**, 72, 1431-1446, 2021.

de SANT-ANNA, S. A. C., JANTALIA, C. P., SÁ, J. M., VILELA, L., MARCHÃO, R. L., ALVES, B. J. R., BODDEY, R.M. Chances in soil organic carbon during 22 years of pastures, cropping or integrated crop/ livestock system in the Brazilian. **Nutrient Cycling in the Agrossystems**, 108, 101-120, 2017.

- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. L. M., SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Metereol. Z.** 22, 711-728, 2013.
- SANO, E. E., RODRIGUES, A. A., MARTINS, E. S., BETTIOL, G. M., BUSTAMANTE, M. M. C... Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. **Journal Environmental Management**, 232, 818828, 2019.
- SPANGLER, K. R., LYNCH, A. H., SPERA, S.A. Precipitation drivers of cropping Frequency in the Brazilian Cerrado: Evidence and implications for decision-making. **Weather Clim. Society**, 8, 201-213, 2017.
- SILVA, F.A.M.; ASSAD, E.D.; EVANGELISTA, B.A. Caracterização climática do bioma Cerrado. In **Cerrado: Ecologia e Flora**; SANO, S.M., ALMEIDA, S.P., RIBEIRO, J.F., Eds.; Embrapa Informação Tecnológica: Brasília, pp. 69–106. DF, Brazil, 2008.
- PINHEIRO, T. P., ALMEIDA, C. A., PINHEIRO, L.M., VALERIANO, D. M., GOMES, A. R., ADAMI, M., SCHEIDE, A., NOGUEIRA, S. H. The near real-time deforestation detection system: case study of DETER system for the cerrado biome. **Jornal Applied Earth Science: Transactions of the Institutions of Mining**, vol. 132, p. 271, 2023.
- DAVIES, B. E. Deficiencies and Toxicities of Trace Elements and Micronutrients in tropical soils. Limitations of Knowledge and Future Research Needs. **Environmental Toxicology and Chemistry**, vol. 16, p. 75-83, 1997.
- BERNOUX, M., CERRI, C. C., CERRI, C. E. P., SIQUEIRA-NETO, M., METAY, A., PERRIN, A. S., ... MILNE, E. Cropping systems, carbon sequestration and erosion in Brazil, a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 26, p.1–8, 2006.
- FRAZÃO, L. A., PICCOLO, M. C., FEIGL, B. J., CERRI, C. C., CERRI, C. E. P. Inorganic nitrogen, microbial biomass and microbial activity of a sandy Brazilian Cerrado soil under different land uses. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 135, p.161–167, 2010.
- GMACH, M. R., DIAS, B. O., SILVA, C. A., NÓBREGA, J. C. A., LUSTOSA-FILHO, J. F., SIQUEIRA-NETO, M. Soil organic matter dynamics and land-use change on Oxisols in the Cerrado, Brazil. **Geoderma Regional**, v. 14, p178, 2018.
- FARIAS, D.B.S.; RODRIGUES, L.N. Agricultura Irrigada no Cerrado. In **Agricultura Irrigada no Cerrado: Subsídios para o Desenvolvimento Sustentável**; RODRIGUES, L.N., Ed.; Embrapa: Cerrados, Planaltina, DF, Brazil, p. 176–200, 2023.
- RODRIGUES, A. A.; MACEDO, M.N.; SILVÉRIO, D.V.; MARACAHIPES, L.; COE, M.T.; BRANDO, P.M.; SHIMBO, J.Z.; RAJÃO, R.; SOARES-FILHO, B.; BUSTAMANTE, M.M.C. Cerrado deforestation threatens regional climate and water availability for agriculture and ecosystems. **Global Change Biology**. v. 28, p. 6807–6822, 2022.
- OLIVA M. L., SILVA M. C., SALLAI R. C., BRITO M. V., SAMPAIO M. U. A novel subclassification for Kunitz proteinase inhibitors from leguminous seeds. **Biochimie**, v. 92, p. 1667–1673. doi: 10.1016/j.biochi.2010.03.021.

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento, <https://www.conab.gov.br/>, acesso em 20/11/2024.

MACEDO M. L. R., RIBEIRO S. F. F., TAVEIRA G. B., GOMES V. M., de BARROS K. M. C. A., MARIA-NETO S. Antimicrobial activity of ILTI, a Kunitz-type trypsin inhibitor from *Inga laurina* (SW.) willd. **Current Microbiology**, v.72, p. 538–544. doi: 10.1007/s00284-015-0970-z, 2016.

ARAÚJO A. P., SOBRINHO S.P. Germinação e produção de mudas de tamboril (*Enterolobium contortisiliquum*) (Vell) morong) em diferentes substrates. **Revista. Árvore**, v. 35, p. 581–588, 2011.

FRADE JÚNIOR, E. F., ARAÚJO, J. A., SILVA, S. B., MOREIRA, J. G. V.; SOUZA, L. P. Substratos de resíduos orgânicos para produção de mudas de ingazeiro (*Inga edulis* Mart) no vale do Juruá - Acre. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7(13): 959-969, 2017

BATISTA I. F. C., OLIVA M. L. V., ARAÚJO M. S., SAMPAIO M. U., RICHARDSON M., FRITZ H., SAMPAIO C. A. Primary structure of Kunitz-type trypsin inhibitor from *Enterolobium contortisiliquum* seeds. **Phytochemistry**. V. 41940, p. 1017–1022. doi: 10.1016/0031-9422(95)00710-5, 1996.

LIMA M. R., ZANOTTA P. J. P., RICART C. A. O., SOUZA M. V. Presence of the cytolytic protein enterolobin in different developmental stages of *Enterolobium contortisiliquum* seeds. **Braz. J. Plant Physiology**. V.19, p.163–170, 2007.

OLIVA M. L., SAMPAIO U. M., SAMPAIO C. A. Serine and SH-proteinase inhibitor from *Enterolobium contortisiliquum* bean. Purification and preliminary characterization. **Brazilian Journal Med. Biol. Res**. V. 20, p. 767–770, 1987.

ZHOU D., LOBO Y. A., BATISTA I. F. C., MARQUE-PORTO R., GUSTCHINA A., OLIVA M. L. V., WLODAWER A. Crystal structure of a plant trypsin inhibitor from *Enterolobium contortisiliquum* (EcTI) and of its complex with bovine trypsin. **PLoS One**. V. 8 doi: 10.1371/journal.pone.0062252, 2013.

BIRK Y. In: **Plant Proteinase Inhibitors: Significance in Nutrition, Plant Protection, Cancer Prevention and Genetic Engineering**. Berlin, editor. Springer-Verlag. pp. 1–126, 2003.

NOGUEIRA NETO F. A., FREITAS SOUZA M., BLAT N. R., da SILVA F. D., FERNANDES B. C. C., das CHAGAS P. S. F., ARAUJO P. C. D., LINS H. A., SILVA D. V. Sensitivity and antioxidant response of forest species seedlings to the atrazine under simulated conditions of subsurface water contamination. **Chemosphere**, v, 360, p 142411. doi: 10.1016/j.chemosphere.2024.142411, 2024.

DIÓGENES É. S. G., SILVA A. L. C., CHAGAS NETO F. C. D., SILVEIRA E. R., LEAL L. K. A. M., NICOLETE R., de ARAÚJO T. G. Evaluation of the skin whitening and antioxidant activity of *Myracrodruon urundeuva* extract (aroeira-do-sertão). **Natural Products Research**. V. 38(20), p. 3663-3668. doi: 10.1080/14786419.2023.2254457, 2024.
NUNES, Y. R. F.; FAGUNDES, M.; ALMEIDA, H. S.; VELOSO, M. D. M. Aspectos ecológicos da aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão-Anacardiaceae): Fenologia e germinação de sementes. **Revista Árvore**. Viçosa, v. 32, p. 233–243, 2008.

CARON, B. O.; QUEIRÓZ de SOUZA, V.; BISOGNIN CANTARELLI, E.; MANFRON, P. A.; BEHLING, A.; ELOY, E. Crescimento em viveiro de mudas de *Schizolobium parahyba* (Vell.) SF Blake. submetidas a níveis de sombreamento. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, p. 683-689, 2010.

ARAÚJO, R. D. I. **Atividade Antimicrobiana e Citotóxica de Óleo Essencial e Extratos Orgânicos Provenientes da *Myracrodruon urundeuva* Fr. Allem. (Aroeira-do-Sertão)**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil, 2017.

MACHADO, A. C.; OLIVEIRA, R. C. Phytotherapy medicines in dentistry: Evidence and perspectives on the use of “Aroeira-do-sertão” (*Myracrodruon urundeuva* Allemão). **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**. V.16, p. 283–289, 2014.

VIÉGAS, I. J. M.; THOMAZ, M. A. A.; SILVA, J. F.; CONCEIÇÃO, H. E. O.; NAIFF, A. P. M. Efeito da omissão de macronutrientes e boro no crescimento, nos sintomas de deficiências nutricionais e na composição mineral de plantas de camucamuzeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 2, p. 315-319, 2004.

SIQUEIRA, Edite Santos. **Uso de biochar na composição de substratos para produção de mudas de espécies florestais**. 2022. 64 f.: il.

ALBUQUERQUE, R. J. M., RODRIGUES, L. M., VIANA, G. J. B. Análise clínica e morfológica da conjuntivite alérgica induzida por ovoalbumina e tratada com chalcona em cobaias. **Acta Cirúrgica Brasileira**. V. 19, p. 43-63, 2004.

PILATTI D. M., FORTES A. M. T., JORGE T. C. M., BOIAGO N. P. Comparison of the phytochemical profiles of five native plant species in two different forest formations. **Brazilian Journal Biology**. V. 79, p. 233-242. doi: 10.1590/1519-6984.179526, 2018.

BÜNDCHEN M., BOEGER M.R., REISSMANN C.B., GERONAZZO, K. M. Interspecific variation in leaf pigments and nutrients of five tree species from a subtropical forest in southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciência**. V.1, p. 467-77. doi: 10.1590/0001-3765201620140605. PMID: 26959320, 2016.

MANOEL R. O., ROSSINI B. C., CORNACINI M. R., MORAES M. L. T, CAMBUIM J., ALCÂNTARA M. A. M., SILVA A. M., SEBBENN A. M., MARINO C. L. Landscape barriers to pollen and seed flow in the dioecious tropical tree *Astronium fraxinifolium* in Brazilian savannah. **PLoS One**.v. 16(8); doi: 10.1371/journal.pone.0255275, 2021.

LEITE M. C. M., de ARAUJO M. A., da SILVA de PAIVA W., CAMARGOS L. S., MARTINS A. R. Morphological responses and tolerance of a tree native to the Brazilian Cerrado *Astronium fraxinifolium* Schott to boron toxicity. **Environmental Science Pollution Resourch Int**. v. 29(5), p. 6900-6910. doi: 10.1007/s11356-021-15710-8, 2022.

CORNACINI M. R., MANOEL R. O., ALCANTARA M. A. M., MORAES M. L. T., SILVA E. A. A., PEREIRA NETO L. G., SEBBENN A. M., ROSSINI B. C., MARINO C. L. Detection and application of novel SSR markers from transcriptome data for *Astronium fraxinifolium* Schott, a threatened Brazilian tree species. **Molecular Biologr Report**. V. 48(4), p. 3165-3172. doi: 10.1007/s11033-021-06338-5, 2021.

- BRAGA M.A., de OLIVEIRA R. R., YAOCHITE J. N. U., SASAHARA G.L., SANTOS F. A., FONSECA F. R. M., de CASTRO N. L. R., TEIXEIRA M. J., JUNIOR J. T. C., RODRIGUES A. L. M., de MORAIS S. M., NAGAO-DIAS A. T. *Astronium fraxinifolium* Schott Exerts Leishmanicidal Activity by Providing a Classically Polarized Profile in Infected Macrophages. **Acta Parasitol.** V.65(3), p. 686-695. doi: 10.2478/s11686-020-00200-7.2020
- BUSATO J. G., ZANDONADI D. B., MÓL A. R., SOUZA R. S., AGUIAR K. P., JÚNIOR F. B., OLIVARES F. L. Compost biofortification with diazotrophic and P-solubilizing bacteria improves maturation process and P availability. **Journal of Science Food Agriculture.** V. 97(3), p.949-955. doi: 10.1002/jsfa.7819.2017
- KAUR H., MIR R. A., HUSSAIN S. J., PRASAD B., KUMAR P., ALOO B.N., SHARMA C. M. , DUBEY R. C. Prospects of phosphate solubilizing microorganisms in sustainable agriculture. **World Journal Microbiology Biotechnology.** V. 40(10), p. 291. doi: 10.1007/s11274-024-04086-9. 2024
- BUSATO J. G., FERRARI L. H., CHAGAS JUNIOR A. F., da SILVA D. B., DOS SANTOS T. P., de PAULA A. M. Trichoderma strains accelerate maturation and increase available phosphorus during vermicomposting enriched with rock phosphate. **Journal Applied Microbiology.** V. 130(4), p. 1208-1216. doi: 10.1111/jam.14847. 2020.
- SOUZA M. M. X, AGOSTINI G. B., SANTOS G.A., FAVALESSA C. M. C., KANIESKI M.R., MILANI J. E. F. Floristic diversity and edaphic filters in an urban forest under Cerrado domain, in Cuiabá, Central Western Brazil. **Brazilian Journal of Biology.** V. 8. doi: 10.1590/1519-6984.279583, 2024.
- ORE O. T., ADEOLA A. O., FAPOHUNDA O., ADEDIPE D. T., BAYODE A. A., ADEBIYI F. M. Humic substances derived from unconventional resources: extraction, properties, environmental impacts, and prospects. **Environmental Science Pollution Research Int.** v. 30(21), p. 59106-59127. doi: 10.1007/s11356-023-26809-5. 2023
- OLK D. C., BLOOM P. R., PERDUE E. M., MCKNIGHT D. M., CHEN Y., FARENHORST A., SENESI N., CHIN Y. P., SCHMITT-KOPPLIN P., HERTKORN N., HARIR M. Environmental and Agricultural Relevance of Humic Fractions Extracted by Alkali from Soils and Natural Waters. **Journal Environmental Quality.** V.48(2), p. 217-232. doi: 10.2134/jeq2019.02.0041. 2019
- KLEBER M., LEHMANN J. Humic Substances Extracted by Alkali Are Invalid Proxies for the Dynamics and Functions of Organic Matter in Terrestrial and Aquatic Ecosystems. **Journal Environmental Quality.** V.48(2), p. 207-216. doi: 10.2134/jeq2019.01.0036, 2019.
- CARVALHO A. M., JESUS D. R., SOUSA T. R., RAMOS M. L. G., de FIGUEIREDO C. C., OLIVEIRA A. D., MARCHÃO R. L., RIBEIRO F. P., DANTAS R. A., BORGES L. A. B. Soil Carbon Stocks and Greenhouse Gas Mitigation of Agriculture in the Brazilian Cerrado-A Review. **Plants** . 2023 Jun v. 26, p. 2449. doi: 10.3390/plants12132449, 2023.
- REICHENBACH M., FIENER P., HOYT A., TRUMBORE S., SIX J., DOETTERL S. Soil carbon stocks in stable tropical landforms are dominated by geochemical controls and not by land use. **Global Changing Biology.** V. 29(9), p. 2591-2607. doi: 10.1111/gcb.16622, 2023.
- SALES G. P. D. S., BRITO M. R., GUEDES-BRUNI R. R. "Éden Fluminense:" from a reforestation area on the Tijuca massif to a Europeanized public space in Rio de Janeiro in the latter half of the nineteenth century. **História Ciências Saúde Manguinhos.** V. 11. doi:

10.1590/S0104-59702024000100039en. 2024

CRONON W. Os usos da história ambiental. **Environmental History Review**. V. 17(3) P. 1–22. 1993.

ROCHA G.P., FERNANDES L.A., CABACINHA C.D., LOPES I.D.P., RIBEIRO J.M., FRAZÃO L.A., SAMPAIO R.A. Caracterização e armazenamento de carbono de sistemas agroflorestais em savanas brasileiras de Minas Gerais, Brasil. **Ciência Rural**. V. 44, p. 1197–1203. doi: 10.1590/0103-8478cr20130804, 2014.

ALONSO J. M., PEREIRA R. N., Abel ELDS, OCHOSKI M., SANTOS G. L., ABREU A. H. M. Sewage sludge as substrate in *Schinus terebinthifolia* raddi seedlings commercial production. **Scientific Report**. V. 14;12(1):17245. doi: 10.1038/s41598-022-21314-0. 2022

FERMINO M. H., MIETH P. Análise de substratos para a produção de mudas de espécies florestais. In: Araújo MM, Navroski MC, Schorn LA, editores. **Produção de sementes e mudas, uma abordagem à silvicultura**. Editora UFSM; 2018. pp.

WENDLING I., GATTO A., PAIVA H.N., GONÇALVES W. **Substratos, Adubação e Irrigação na Produção de Mudas**. Aprenda Fácil; 2002

TIVET F., De MORAES Sá J. C., LAL R., BORSZOWSKI P. R., BRIEDIS C., dos SANTOS J. B., SÁ M. F. M., da CRUZ HARTMAN D., EURICH G., FARIAS A. *et al.* Perdas de fração de carbono orgânico do solo em preparo contínuo com arado e sua restauração por diversas entradas de biomassa-C em plantio direto em regiões tropicais e subtropicais do Brasil. **Geoderma**.v. 209–210, p. 214–225. doi: 10.1016/j.geoderma.2013.06.008, 2013.

RESENDE T. M., ROSOLEN V., BERNOUX M., MOREIRA M. Z., CONCEIÇÃO F. T. D., GOVONE J. S. Dinâmica da Matéria Orgânica do Solo em Cronossequência Cultivada no Cerrado (Minas Gerais, Brasil) **Soil Res**. V. 55, p. 750–757. doi: 10.1071/SR16131, 2017.

CANELLAS, L. P. da SILVA, S. F.; OLK, D. C.; OLIVARES, F. L. Foliar application of *Herbaspirillum seropedicae* and humic acid increase maize yields. **Journal of Food, Agriculture; Environment**, v. 13, n. 11, p.146-153, 2015.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003.

MENDONÇA, E. S.; MATOS, E. S. **Matéria orgânica do solo: Métodos de análises**. UFV-Viçosa, 2005, 77p.

MARQUES JUNIOR, R. B.; PASQUALOTO CANELLAS, L.; SILVA, L. G. D.; LOPES OLIVARES, F. Promoção de enraizamento de microtoletes de cana-de-açúcar pelo uso conjunto de substâncias húmicas e bactérias diazotróficas endofíticas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p. 1121-1128, 2008.

ROSA, C. M.; CASTILHOS, R. M. V.; VAHL, L. C.; CASTILHOS, D. D.; PINTO, L. F. S.; OLIVEIRA, E. S.; LEAL, O. A. Efeito de substâncias húmicas na cinética de absorção de potássio, crescimento de plantas e concentração de nutrientes em *Phaseolus vulgaris* L. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 959- 967, 2009.

CANELLAS, L.C.; SANTOS, G.A. **Humosfera**: Tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Campos dos Goytacazes, 2005. 309p.

DICK, D.P.; GOMES, J.; ROSINHA, P.B. Caracterização de substâncias húmicas extraídas de solos e de lodo orgânico. **R. Bras. C. Solo**, 22:603-611, 1998.

FAÇANHA, A.R.; FAÇANHA, A.L.O.; OLIVARES, F.L.; GURID, F.; SANTOS, G.A.; VELLOSO, A.C.X.; RUMJANEK, V.M.; BRASIL, F.; SCHRIPSEMA, J.; BRAZ-FILHO, R.; OLIVEIRA, M.A.; CANELLAS, L.P. Bioatividade de ácidos húmicos: Efeito sobre o desenvolvimento radicular e sobre a bomba de prótons da membrana plasmática. **Pesq. Agropec. Bras.**, 37:1301-1310, 2002.

NARDI, S.; PIZZEGHELLO, D.; RENIERO, F.; RASCIO, N. Chemical and biochemical properties of humic substances isolated from forest soils and plant growth. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, 64:639-645, 2000a.

PICOLLO, A. The supramolecular structure of humic substances: A novel understanding of humus chemistry and implications in soil science. **Adv. Agron**, 75:57-134, 2002.

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275-374.

STEVENSON, J.F. **Humus chemistry, gênesis, composition, reactions**. 2.ed. New York, John Wiley, 1994. 496p.

TAN, K.H. Colloidal chemistry of organic soil constituents. In: TAN, K.H. **Principles of soil chemistry**. New York, Marcel Dekker, 1998. p.177-258.

SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo**: Eossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Gênese, 1999. 491p.

RODDA, M.R.C.; CANELLAS, L.P.; FAÇANHA, A.R.; ZANDONADI, D.B.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; SANTOS, G.A. Estímulo no crescimento e na hidrólise de ATP em raízes de alface tratadas com humatos de vermicomposto. II - Efeito da fonte de vermicomposto. **R. Bras. Ci. Solo**, 30:657-664, 2006b.

ALVES, F. J. B.; FREIRE, A. L O. Crescimento inicial e qualidade de mudas de ipêroxo (*Handroanthus impetiginosus* (mart. Ex dc) Mattos) produzidas em diferentes substratos. **AGROPECUÁRIA CIENTÍFICA NO SEMIÁRIDO**, v. 13, n. 3, p. 195-202, 2017.

ARAUJO, E. C.; COSTA, R. S.; LOPES, E. C.; DAHER, R. F.; FERNANDES, M. E. B. Qualidade das mudas de espécies arbóreas de mangue cultivadas em viveiro e diferentes substratos. **Revista Acta Ambiental Catarinense**, v. 11, n. 1/2, p. 21-32, 2016.

BUSATO, J. G.; ZANDONADI, D. B.; de SOUSA, I. M.; MARINHO, E. B.; DOBBSS, L. B.; Mól, A. R. Efeito do extrato húmico solúvel em água e biofertilizante sobre o desenvolvimento de mudas de *Callophyllum brasiliense*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 86, p. 161-168, 2016.

PAIVA, J. R. G. da SILVA, F.; FERREIRA, L. L.; de MESQUITA, E. F.; PORTO, V. C. N. Produção de mudas de pinheira (*Annona Squamosa* L.) em função da adubação orgânica e volumes de substrato. **Cadernos de Agroecologia**, v. 8, n. 2, p.1-5, 2013.

CARNEIRO, P. A. P.; LOPES, P. S. N.; de OLIVEIRA, N. C. C.; FERNANDES, L. A.; de MELO, B. Produção de porta-enxerto de limão cravo em resposta a adubação organomineral. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 3, p. 427-432, 2011.

De OLIVEIRA LIMA I. M., SILVA M. F. G., ENSINAS S. C., Da SILVA J. R. M., FILHO W. C. M., BARBOSA G. F. Adubo Verde para Aumento dos Estoques de Carbono do Solo em Quartzipismo Típico do Cerrado | Adubos Verdes Para o Incremento Dos Estoques de Carbono Em Neossolo Quartzarênico de Cerrado. **Revista Brasileira Ciências Agrárias**. V. 13 doi: 10.5039/agraria.v13i4a5588, 2018.