Câmpus Sul
UnU - Ipameri
Universidade Estadual de Goiás
ESTADO DE GOIÁS
PPGPV

Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal

COMPOSTO PÉ DE BOI: ALTERNATIVA NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE AROEIRA

JÉSSICA KARINA MESQUITA VIEIRA

MESTRADO

Ipameri-GO
2026

JÉSSICA KARINA MESQUITA VIEIRA

COMPOSTO PÉ DE BOI: ALTERNATIVA NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE AROEIRA

Orientador: Prof. Dr. Roldão Carlos Andrade Lima

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – UEG, Unidade Universitária de Ipameri como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal para obtenção do título de MESTRE.

Ipameri
2026

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UEG
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

VV665c
Vieira, Jéssica Karina Mesquita
COMPOSTO PÉ DE BOI: ALTERNATIVA NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE AROEIRA / Jéssica Karina Mesquita Vieira; orientador Roldão Carlos Andrade Lima. -- Ipameri, 2026.
71 p.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós-Graduação Mestrado Acadêmico em Produção Vegetal) -- Unidade de Ipameri, Universidade Estadual de Goiás, 2026.

1. Espécie florestal nativa. 2. Germinação de sementes. 3. Substrato orgânico. 4. Restauração ecológica. I. Lima, Roldão Carlos Andrade, orient. II. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "Composto pé de boi: Alternativa na produção de mudas de aroeira."

AUTOR(A): Jéssica Karina Mesquita Vieira
ORIENTADOR(A): Roldão Carlos Andrade Lima

Aprovado(a) como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE(A) EM PRODUÇÃO VEGETAL, pela comissão Examinadora:

Prof. Dr. Carlos de Melo Silva e Neto

Documento assinado digitalmente
gov.br CARLOS DE MELO E SILVA NETO
Data: 04/08/2026 11:00:06-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Universidade Estadual de Goiás/ Unidade Universitária Ipameri- GO

Prof. Dr. Roldão Carlos Andrade Lima (Orientador)

Documento assinado digitalmente
gov.br ROLDAO CARLOS ANDRADE LIMA
Data: 04/08/2026 10:46:44-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão/ UEMASUL- MA

Dr.ª Flívia Fernandes de Jesus Souza
Universidade Estadual de Goiás/ Unidade Universitária Ipameri- GO

Documento assinado digitalmente
gov.br FLIVIA FERNANDES DE JESUS SOUZA
Data: 04/08/2026 10:54:53-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Data da realização: 04 de Agosto de 2026

Registro de Declaração

Número: 339 Livro: R-01 Folhas: 05A Data: 04/08/2026 Assinatura:

Unidade Universitária Ipameri
(64) 34304661
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Produção Vegetal
Rodovia Go 330 Km 241 Anel Viário S/N, Setor Universitário
www.ppgpv.ueg.br e-mail: ppgpv.ipameri@ueg.br
Cep: 75780-000, Ipameri - GO

Dedico este trabalho à minha família, que sempre me apoiou em minhas decisões, e *in memoriam* de todos aqueles que partiram durante a minha caminhada, em especial à minha querida avó, Maria Julia, cujo amor permanece presente em minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me sustentado durante a minha trajetória, concedendo-me sabedoria e paciência em momentos de dificuldade.

Aos meus pais, Maria do Socorro Mesquita Vieira e Edson Odorico Favacho Vieira, pelo apoio incondicional, incentivo e conselhos ao longo da minha vida, especialmente durante esses dois anos de mestrado.

Ao meu "desorientador", professor Dr. Roldão Carlos Andrade Lima, por todo acompanhamento, orientação e aconselhamento ao longo da minha trajetória acadêmica, contribuindo significativamente para a minha formação profissional.

Aos meus amigos, Emilly Nogueira Alves (colega de quarto), pela parceria, paciência e por ter me incentivado a deixar meu estado e vir para Goiás em busca da continuidade da minha trajetória acadêmica; Bárbara Vieira dos Santos (colega de quarto e irmã de curso), pelo companheirismo, pelas brigas, pelos momentos compartilhados e pelo apoio na reta final desta caminhada; e Rikelme Matheus dos Santos Relvas pela amizade, apoio, incentivo e pelos conhecimentos compartilhados durante o período acadêmico.

À Universidade Estadual de Goiás – UEG, Unidade Universitária de Ipameri, pela oportunidade de realizar o curso de mestrado em Produção Vegetal.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão de bolsa de estudos, o que permitiu o desenvolvimento deste trabalho.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal – PPGPV, bem como aos técnicos e colaboradores, pelos ensinamentos que contribuíram para a minha formação acadêmica e profissional.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

RESUMO GERAL viii

GENERAL SUMMARY ix

INTRODUÇÃO GERAL 10

OBJETIVO GERAL 12

CAPÍTULO I: GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Astronium urundeuva* EM DIFERENTES SUBSTRATOS E TEMPERATURAS 13

RESUMO 14

ABSTRACT 15

INTRODUÇÃO 16

OBJETIVO 18

MATERIAL E MÉTODOS 19

Local do Experimento *19*

Delineamento Experimental *19*

Variáveis Avaliadas *19*

Análises Estatísticas *20*

RESULTADOS E DISCUSSÃO 21

CONCLUSÃO 27

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 28

CAPÍTULO II: COMPOSTO PÉ DE BOI: ALTERNATIVA NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE AROEIRA 30

RESUMO 31

ABSTRACT 32

INTRODUÇÃO 33

OBJETIVO 36

MATERIAL E MÉTODOS 37

Local do Experimento *37*

Delineamento Experimental ..... ***Erro! Indicador não definido.***

Variáveis Avaliadas *39*

Análises Estatísticas *41*

RESULTADOS E DISCUSSÃO 42

CONCLUSÃO 62

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 63

CONSIDERAÇÕES FINAIS 68

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 69

RESUMO GERAL

A produção de mudas de espécies florestais nativas é uma etapa fundamental para programas de restauração ecológica, sendo influenciada diretamente pela qualidade fisiológica das sementes e pelas condições de cultivo. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a germinação de sementes e o desenvolvimento inicial de mudas de aroeira (*Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.), espécie nativa de elevada importância ecológica e econômica. No primeiro capítulo, foram avaliados os efeitos de diferentes temperaturas e substratos sobre a germinação das sementes, por meio de variáveis como porcentagem de germinação, índice de velocidade de germinação, comprimento e massa seca das plântulas. Os resultados evidenciaram que a resposta germinativa da espécie varia em função das condições de condução do teste de germinação. No segundo capítulo, foi avaliado o potencial do composto orgânico pé de boi como componente de substrato para produção de mudas, em diferentes proporções associadas ao solo e ao substrato comercial. Foram analisadas índice de velocidade de emergência, altura, diâmetro do coleto, número de folhas, massa seca e índice de qualidade de Dickson. Os resultados demonstraram que a composição do substrato influencia significativamente o desenvolvimento das mudas, sendo que proporções moderadas do composto pé de boi apresentaram desempenho satisfatório, enquanto concentrações elevadas limitaram o crescimento inicial. De modo geral, os resultados obtidos contribuem para o aprimoramento de técnicas de propagação da aroeira, fornecendo informações relevantes para testes de germinação, produção de mudas e programas de restauração ecológica.

Palavras-Chave: Espécie florestal nativa; Germinação de sementes; Substrato orgânico; Restauração ecológica.

GENERAL SUMMARY

The production of seedlings of native forest species is a fundamental step in ecological restoration programs and is directly influenced by the physiological quality of the seeds and the growing conditions. In this context, the objective of this study was to evaluate seed germination and the initial development of seedlings of aroeira (Astronium urundeuva (M. Allemão) Engl.), a native species of high ecological and economic importance. In the first chapter, the effects of different temperatures and substrates on seed germination were evaluated using variables such as germination percentage, germination rate index, seedling length, and dry weight. The results showed that the species' germination response varies depending on the conditions under which the germination test was conducted. In the second chapter, the potential of the organic compost "pé de boi" as a substrate component for seedling production was evaluated at different proportions mixed with soil and commercial substrate. The emergence rate index, height, collar diameter, number of leaves, dry mass, and Dickson quality index were analyzed. The results demonstrated that substrate composition significantly influences seedling development; moderate proportions of "pé de boi" compost yielded satisfactory performance, while high concentrations limited initial growth. Overall, the results obtained contribute to the improvement of aroeira propagation techniques, providing relevant information for germination tests, seedling production, and ecological restoration programs.

Keywords: Native forest species; Seed germination; Organic substrate; Ecological restoration.

INTRODUÇÃO GERAL

As regiões cobertas por vegetação característica do bioma Cerrado têm sido afetadas por processos de desmatamento, principalmente devido à expansão agrícola, à pecuária e à exploração ilegal de madeira (VIEIRA e ARAUJO, 2024). Este último consiste na remoção de espécies arbóreas com elevado valor econômico, cuja presença é essencial para a manutenção da fauna nativa e o equilíbrio ecológico local. A produção de mudas florestais é importante para a conservação da biodiversidade e a restauração de ecossistemas, sendo vinculada a programas de reflorestamento, recuperação de áreas degradadas e ações de arborização urbana. Essa prática contribui significativamente para a sustentabilidade ambiental, promovendo o equilíbrio ecológico e o uso racional dos recursos naturais (SILVA et al., 2025).

Nesse contexto, o cultivo e o plantio de mudas de espécies nativas são recomendados como práticas eficazes para a recuperação de áreas desmatadas, contribuindo para a restauração ambiental e a mitigação dos impactos do desmatamento. Dentre as espécies impactadas por esse processo de degradação, destaca-se a aroeira (*Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.), pertencente à família Anacardiaceae (NASCIMENTO et al., 2022).

A aroeira se destaca por ser considerada uma das espécies mais promissoras entre as árvores nativas para o enriquecimento e recomposição de reservas legais, além da recuperação de áreas degradadas, devido ao seu valor econômico, sua adaptação a diferentes condições climáticas e sua alta tolerância à seca (OLIVEIRA et al., 2020). Dada a importância desta espécie amplamente utilizada na recuperação de ambientes degradados e desmatados, um dos principais desafios na produção de mudas florestais nativas é a escassez de estudos. Todavia, sabe-se que a utilização de mudas para a recuperação de áreas degradadas depende da qualidade das mudas produzidas, do tipo de recipiente e do substrato utilizado (LIMA et al., 2017; FRIZON, 2022).

Além destes fatores, outro fator que influencia diretamente a qualidade das mudas é o processo de germinação. A temperatura contribui de forma significativa nesse processo, exercendo influência direta na taxa de absorção de água pelas sementes, além de regular reações bioquímicas fundamentais para o início do desenvolvimento da plântula (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012). A temperatura também atua na participação da oxidação de carboidratos e respiração celular que regulam o desenvolvimento da espécie, a definição da condição ideal de temperatura auxilia na produção de mudas e na redução de custos experimentais (SOUZA et al., 2025).

A escolha do substrato a ser utilizado representa um fator determinante para o desempenho das mudas, influenciando seu crescimento vegetativo e vigor até a etapa de plantio

em condições de campo (FARIA e FILHO, 2024). O substrato é definido como qualquer material sólido, natural, sintético ou residual, mineral ou orgânico, que não seja solo, e que favoreça a fixação e o crescimento do sistema radicular, proporcionando estabilidade à planta (OLIVEIRA et al., 2016). Substratos inadequados podem afetar a qualidade das mudas, deixando-as desuniformes e mais suscetíveis a pragas e doenças (SILVA et al., 2023). Dentre os substratos disponíveis, o esterco se destaca por ser eficiente na germinação de sementes, liberando nutrientes de maneira gradual para o desenvolvimento inicial das plântulas e seu crescimento ao longo do tempo (RAZA et al., 2020; RIBEIRO, COELHO e CANUTO, 2026).

OBJETIVO GERAL

Avaliar a utilização do composto orgânico Pé de boi na produção de mudas de *Astronium urundeuva*, bem como analisar a germinação de sementes da espécie sob diferentes condições de substrato e temperatura.

CAPÍTULO I: GERMINAÇÃO DE SEMENTES DE *Astronium urundeuva* EM DIFERENTES SUBSTRATOS E TEMPERATURAS

RESUMO

A aroeira (*Astronium urundeuva* (M.Allemão) Engl.) é uma espécie florestal nativa pertencente à família Anacardiaceae, com madeira amplamente empregada na arquitetura devido a sua alta durabilidade. O uso intensivo dessa espécie contribuiu para sua escassez em diversos biomas brasileiros, tornando-a de interesse para ações de reflorestamento e recuperação de áreas degradadas. Nesse contexto, compreender a germinação das sementes de aroeira é fundamental para otimizar a produção de mudas e viabilizar programas de conservação. Dessa forma, o objetivo do trabalho é avaliar como diferentes temperaturas e tipos de substrato influenciam a germinação de sementes de aroeira. Avaliou-se a germinação (%), o índice de velocidade de germinação, o comprimento da plântula (cm) e a massa seca da plântula (g) de aroeira em diferentes temperaturas e substratos. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2×3 (dois substratos – areia e papel; três temperaturas – 20 °C, 25 ºC e 30 °C), com quatro repetições. Os resultados indicaram que, para o comprimento de plântula e a porcentagem de germinação, observou-se efeito significativo da temperatura e do substrato, sendo os maiores valores obtidos a 25 °C, 30ºC e 20ºC, 25ºC respectivamente, no substrato areia. O índice de velocidade de germinação foi influenciado pela temperatura, apresentando melhor desempenho a 30 °C. Porém, essa temperatura promoveu redução na porcentagem de germinação. Essa redução pode ter relação com o efeito de altas temperaturas na germinação, já que, nestas condições, alterações enzimáticas podem ocorrer, acelerando a velocidade respiratória das sementes, propiciado ambiente ideal para o desenvolvimento de fungos, o que comprometeu o processo germinativo nesta temperatura. Conclui-se que a condição ideal para a condução do teste de germinação de aroeira é o uso do substrato areia a 25 °C, com contagem final aos 14 dias.

Palavras-Chave: Silvicultura; Produção de mudas; Análise de sementes; Sementes florestais.

ABSTRACT

The aroeira (*Astronium urundeuva* (M.Allemão) Engl.) is a native forest species belonging to the Anacardiaceae family, whose wood is widely used in architecture due to its high durability. The intensive use of this species has contributed to its scarcity in various Brazilian biomes, making it a priority for reforestation efforts and the restoration of degraded areas. In this context, understanding the germination of aroeira seeds is essential for optimizing seedling production and enabling conservation programs. Thus, the objective of this study is to evaluate how different temperatures and substrate types influence the germination of aroeira seeds. Germination (%), the germination rate index, seedling length (cm), and seedling dry weight (g) of aroeira were assessed at different temperatures and on different substrates. A completely randomized design was used, in a 2×3 factorial layout (two substrates—sand and paper; three temperatures—20°C, 25°C, and 30°C), with four replicates. The results indicated that, for seedling length and germination percentage, significant effects of temperature and substrate were observed, with the highest values obtained at 25 °C, 30 °C, and 20 °C, 25 °C, respectively, in the sand substrate. The germination rate index was influenced by temperature, showing the best performance at 30 °C. However, this temperature led to a reduction in the germination percentage. This reduction may be related to the effect of high temperatures on germination, since, under these conditions, enzymatic changes can occur, accelerating seed respiration and creating an ideal environment for fungal growth, which compromised the germination process at this temperature. It is concluded that the ideal conditions for conducting the aroeira germination test are the use of a sand substrate at 25 °C, with the final count taken at 14 days.

Keywords: Silviculture; Seedling production; Seed analysis; Forest seeds.

INTRODUÇÃO

As florestas nativas cobrem cerca de um terço da superfície terrestre e são essenciais para a manutenção da biodiversidade, abrigando aproximadamente 80% das espécies que vivem em ambientes terrestres. Apresenta múltiplos serviços ecossistêmicos como a garantia da oferta e da qualidade da água, a regulação de microclimas, a formação e conservação do solo, além da produção de subprodutos como resinas, fibras, medicamentos e alimentos (SOUSA et al., 2017). Com o passar dos anos, houve a redução da cobertura vegetal, impulsionada pela expansão das atividades agropecuárias e pelo crescimento urbano. Nesse contexto, o Cerrado destaca-se como um dos biomas mais impactados, sendo o segundo com a maior área degradada no Brasil, conforme apontado pelo Relatório Anual do Desmatamento (RAD) (BRASIL, 2025).

A degradação ambiental decorrente dessas atividades aumenta os efeitos das mudanças climáticas (STRASSBURG, 2017) e compromete os processos naturais de regeneração das florestas, além de prejudicar a conservação da biodiversidade. Dentre as espécies impactadas por esse processo de degradação, destaca-se a aroeira (*Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.), que é considerada uma das mais promissoras entre as árvores nativas para o enriquecimento e recomposição de reservas legais, além da recuperação de áreas degradadas, devido ao seu valor econômico, sua adaptação a diferentes condições climáticas e sua alta tolerância à seca (OLIVEIRA et al., 2020).

Dada a importância da aroeira, um dos principais desafios na produção de mudas florestais nativas desta espécie é a escassez de estudos. Todavia, sabe-se que a utilização de sementes e mudas para a produção de indivíduos vegetativos na recuperação de áreas degradadas depende do seu processo germinativo, da qualidade das mudas produzidas, do tipo de recipiente e do substrato utilizado (LIMA et al., 2017; FRIZON, 2022).

Entre os fatores que influenciam diretamente a qualidade das mudas, destaca-se o processo de germinação, que constitui uma etapa fundamental para o estabelecimento inicial das plântulas, sendo responsável por determinar o sucesso da propagação de espécies florestais em viveiros e em condições de campo (KOUTSOVOULOU; THANOS e DASKALAKOU, 2025). Esse processo envolve uma série de eventos fisiológicos e bioquímicos que se iniciam com a embebição de água pela semente e o consequente aumento da atividade respiratória do embrião (VIEIRA e CARVALHO, 2023).

A temperatura, por sua vez, exerce importância na regulação desses processos, influenciando diretamente a velocidade e a uniformidade da germinação. Cada espécie apresenta uma faixa térmica específica na qual a germinação ocorre de forma mais eficiente, sendo comumente definidos valores mínimos, ótimos e máximos para esse processo, com o

intuito de aumentar a taxa de sobrevivência das plântulas e consequentemente o desenvolvimento das mudas (SILVA et al., 2024). Condições térmicas fora desses limites podem retardar ou inibir a germinação, além de comprometer o vigor das plântulas formadas.

Além da temperatura, a definição do substrato a ser utilizado representa um fator determinante para o desempenho das mudas, influenciando seu crescimento vegetativo e vigor até a etapa de plantio em condições de campo (FARIA, 2020). O autor também comenta que aspectos práticos como a facilidade de manuseio, a disponibilidade regional dos materiais e o baixo custo também deve ser considerados na seleção do substrato mais adequado. Portanto, a areia se destaca por suas características físicas, que favorecem boa aeração associada à retenção de umidade, importante para o processo germinativo (RIBEIRO et al., 2026). Em comparação a outros substratos, a areia apresenta maior semelhança com as condições naturais do solo, presente em campo.

Os testes de germinação constituem uma importante ferramenta na produção de espécies florestais, pois permitem avaliar a qualidade fisiológica e o potencial de estabelecimento das sementes. Esses testes são realizados em condições controladas e têm a finalidade de determinar o potencial máximo de germinação de um lote de sementes, possibilitando a comparação entre diferentes lotes e auxiliando na tomada de decisões quanto à sua utilização (BRASIL, 2025). Além disso, a avaliação do vigor complementa as informações obtidas no teste de germinação, fornecendo estimativas mais precisas sobre o desempenho das sementes durante a emergência e o desenvolvimento inicial das plântulas (KRZYZANOWSKI et al., 2020). Dessa forma, lotes com maior vigor tendem a originar mudas mais uniformes e de melhor qualidade.

OBJETIVO

O objetivo deste capítulo foi avaliar como diferentes temperaturas e tipos de substrato influenciam a germinação de sementes de aroeira, com o intuito de determinar as melhores condições para o teste de germinação e contribuir para definição de metodologia para o teste de germinação.

MATERIAL E MÉTODOS

Local do Experimento

O experimento foi conduzido no laboratório Multidisciplinar da Universidade Estadual de Goiás - UEG, Unidade Universitária de Ipameri, com coordenadas 17°43'00"S, 48°08'40"W e altitude de 795,26m.

As sementes utilizadas foram disponibilizadas pela Rede de sementes do Projeto de Integração do São Francisco (PISF) mantido pelo Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental da Universidade Federal do Vale do São Francisco (NEMA/UNIVASF).

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo AW - Tropical com estação seca no inverno e verão úmido, apresentando temperaturas médias de 18°C (inverno), 30°C (verão) e média anual de 20°C (CARDOSO et al., 2014).

Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi inteiramente casualisado (DIC) em esquema fatorial de 3 × 2 (três temperaturas – 20°C, 25°C e 30°C × dois substratos – areia e papel) com 4 repetições. Os testes de germinação foram baseados nas Regras para Análises de Sementes (RAS), conforme Brasil (2025), os quais foram utilizadas 25 sementes por repetição, dispostas sobre substrato papel do tipo filtro previamente umedecidos com água destilada na quantidade de 2,5 vezes a massa do papel seco, que foram mantidas em câmara de germinação nas temperaturas supracitadas. Para o substrato areia foi realizado quatro repetições de 25 sementes, que foram semeadas entre areia, ou seja, as sementes foram colocadas sobre a camada de areia e cobertas com areia e umedecida com água destilada até atingir 60% da capacidade de campo (BRASIL, 2025).

Variáveis Avaliadas

Foram avaliadas as seguintes variáveis: Índice de Velocidade de Germinação (IVG), calculado a partir da observação de quantas sementes geraram plântulas até a sua estabilização. O cálculo foi realizado seguindo a metodologia proposta por Maguire (1962):

$$IVG = \frac{G1}{N1} + \frac{G2}{N2} + \cdots + \frac{Gn}{Nn}$$

Em que: IVG é o índice velocidade de germinação; G1, G2,... Gn é o número de sementes germinadas a cada dia; N1, N2,... Nn é o número de dias decorridos da semeadura da primeira até a última contagem.

A Porcentagem de Germinação (PG), obtida pela razão entre o número de sementes germinadas e o número total de sementes semeadas, sendo os resultados expressos em porcentagem, conforme a fórmula:

$$PG = \frac{N}{A} X\ 100$$

Em que: PG é a porcentagem de germinação; N é o número de sementes germinadas; A é o número total de sementes semeadas.

O Comprimento da plântula (CP) foi realizado por meio de todas as plântulas consideradas normais e medidas utilizando régua graduada (cm). Para a Massa seca da plântula (MSP), as plântulas foram acondicionadas em cadinhos e submetidas à secagem em estufa de circulação forçada de ar a 80°C por 24h (NAKAGAWA, 1999). Posteriormente, os cadinhos foram colocados em um dessecador por 50 minutos. Após esse período realizou-se a pesagem em balança analítica, sendo os resultados expressos em gramas.

Análises Estatísticas

Os dados foram submetidos aos testes de normalidade (SHAPIRO e WILK, 1965) e homogeneidade de variância (BARTLETT, 1992). Após atendido aos pressupostos metodológicos foi realizada a análise de variância (ANOVA). Quando observadas diferenças significativas entre os tratamentos, foi realizado teste de comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas e a elaboração dos gráficos foram realizados com o auxílio do software R, versão 4.4.1 (R CORE TEAM, 2024).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados, pôde-se constatar que as diferentes temperaturas e substratos influenciaram significativamente o comprimento de plântula (CP), índice de velocidade de germinação (IVG) e porcentagem de germinação (GER) da aroeira (Tabela 1), excluindo a massa seca da plântula (MSP). Não foi observada interação significativa entre temperatura e substrato para nenhuma variável, o que indica que os fatores atuaram de forma independente sobre o desempenho germinativo das sementes.

Tabela 1. Análise de variância (ANOVA) para comprimento de plântula (CP), massa seca de plântula (MSP), índice de velocidade de germinação (IVG) e porcentagem de germinação (GER) para a aroeira em função de diferentes temperaturas e substratos.

F.V.	GL	CP	MSP	IVG	GER
Temperatura (T)	2	7,4744**	0,9161^{ns}	5,7484**	2188,0**
Substrato (S)	1	2,1961*	0,2108^{ns}	1,1704^{ns}	640,7*
T x S	2	2,8016^{ns}	0,6268^{ns}	0,7657^{ns}	209,3^{ns}
Resíduo	18	7,4619	6,6296	7,7487	1708,0
CV (%)		14,28	290,49	26,46	22,39

** – altamente significativo; * – significativo a 1 e 5% de probabilidade, respectivamente, pelo teste F; ns – não significativo; CV (%) – coeficiente de variação. F.V. – fator de variação; GL – grau de liberdade.

Para o Comprimento de Plântula (CP), as sementes germinadas em areia apresentaram maior crescimento (4,81 cm) em comparação ao papel (4,21 cm) (Figura 1). Esse resultado pode estar relacionado às condições físicas proporcionadas pela areia, que favorecem a manutenção adequada da umidade e a aeração ao redor das sementes, contribuindo para o desenvolvimento inicial das plântulas (ALVES et al., 2022).

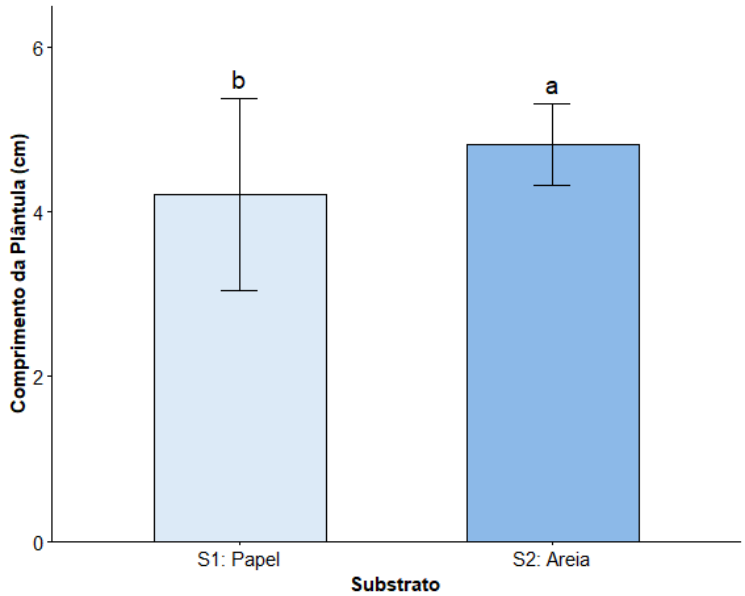


Figura 1. Comprimento da plântula (CP) de aroeira nos substratos Papel filtro e Areia. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p<0,05$).

O menor comprimento da plântula observado no substrato papel pode estar relacionado não apenas às características físicas do material, mas também à maior ocorrência de fungos observada durante a condução do experimento. No presente estudo, a maior incidência de fungos observada no papel sugere que a elevada umidade mantida pelo substrato associada à liberação de exsudatos pelas sementes durante a embebição pode ter favorecido o desenvolvimento de microrganismos, comprometendo parcialmente o crescimento das plântulas (ALVES et al., 2022). Em contrapartida, a areia proporciona maior drenagem e aeração, reduzindo o acúmulo de água e favorecendo o desenvolvimento inicial das plântulas de aroeira (RIBEIRO et al., 2026).

Em relação à temperatura, 25°C e 30°C não diferiram estatisticamente entre si para o CP ($P \leq 0,05$) porém apresentaram valores superiores aos observados a 20°C (Figura 2), indicando que temperaturas mais elevadas favorecem o desenvolvimento das plântulas. De acordo com Vitória et al. (2018), temperaturas constantes e mais elevadas promovem maior vigor e desempenho germinativo em sementes de aroeira, favorecendo os processos metabólicos envolvidos na germinação e no crescimento inicial das plântulas.

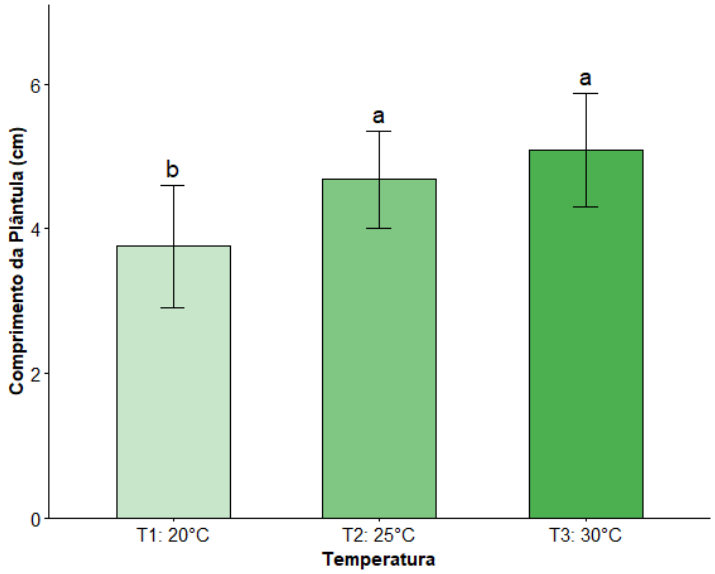


Figura 2. Comprimento da plântula (CP) de aroeira em diferentes temperaturas (20ºC; 25ºC e 30ºC). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p<0,05$).

Sghaier et al. (2022) destacam que a temperatura influencia diretamente a dinâmica da absorção de água pelas sementes, acelerando os processos fisiológicos que ocorrem durante a germinação. Segundo esses autores, temperaturas mais baixas tendem a reduzir a velocidade das reações metabólicas e da atividade enzimática, retardando a mobilização das reservas armazenadas nas sementes e, consequentemente, o crescimento das plântulas. Por outro lado, temperaturas próximas à faixa ótima proporcionam maior eficiência na utilização dessas reservas.

De acordo com o Ministério da Agricultura e Pecuária – MAPA (BRASIL, 2024), a temperatura sugerida para a aroeira está na faixa de 25ºC, 30ºC e na temperatura alternada de 20-30ºC. Oliveira et al. (2020) obteve que, em sementes de *Callisthene major* Mart., as temperaturas mais elevadas promoveram maior vigor e crescimento inicial das plântulas quando comparadas a menores temperaturas. Dessa forma, os resultados obtidos sugerem que a temperatura de 20°C reduziu a velocidade dos processos fisiológicos relacionados ao crescimento, enquanto as temperaturas de 25°C e 30°C forneceram condições mais adequadas para o desenvolvimento inicial das plântulas de aroeira.

Para a massa seca da plântula (MSP), não foram observados efeitos significativos da temperatura, do substrato ou da interação entre esses fatores ($p>0,05$). Esse resultado indica que as condições avaliadas não influenciaram o acúmulo de biomassa das plântulas durante o período experimental. O coeficiente de variação observado para essa variável foi de 290,49%, indicando elevada variabilidade dos dados e menor precisão experimental para a estimativa da massa seca das plântulas. Valores elevados de CV podem estar associados à maior heterogeneidade dos dados experimentais, reduzindo a capacidade de detectar diferenças entre os tratamentos (PIMENTEL-GOMES, 2009). Embora temperaturas mais elevadas e o substrato areia tenham favorecido o crescimento em comprimento, esse efeito não se refletiu em diferenças na produção de matéria seca.

A temperatura influenciou significativamente o índice de velocidade de germinação (IVG), sendo observado o maior valor a 30°C, enquanto a menor velocidade ocorreu a 20°C (Figura 3). A temperatura de 25°C apresentou comportamento intermediário, não diferindo estatisticamente das demais. Esse resultado indica que o aumento da temperatura favoreceu a rapidez do processo germinativo, promovendo uma emergência mais acelerada das plântulas.

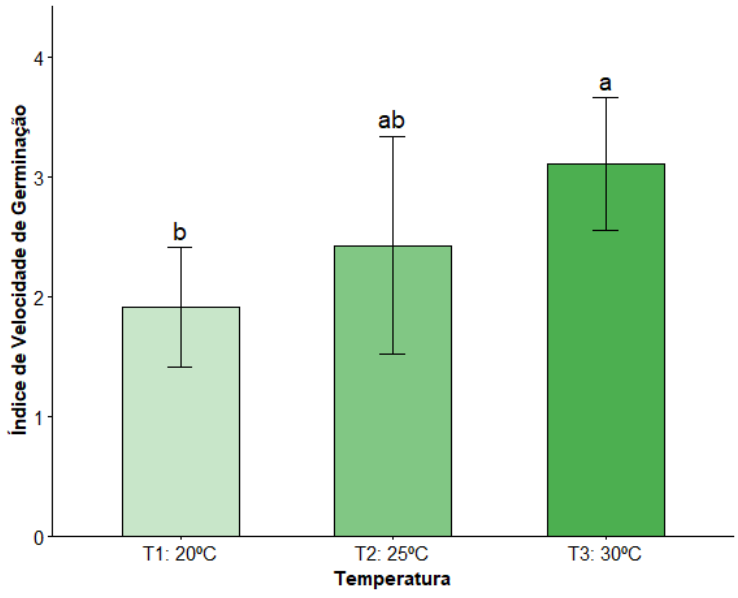


Figura 3. Índice de velocidade de germinação (IVG) de aroeira em diferentes temperaturas (20ºC; 25ºC e 30ºC). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p<0,05$).

Em estudo realizado com *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos, verificou-se que temperaturas próximas a 30°C proporcionaram maior desempenho fisiológico das sementes, refletindo em maior vigor e rapidez na germinação (FERREIRA et al., 2020). Segundo os autores, a temperatura atua diretamente na velocidade dos processos envolvidos na germinação, influenciando a expressão do potencial fisiológico das sementes. Assim, o maior IVG obtido a 30°C sugere que essa temperatura proporcionou condições mais adequadas para a germinação da espécie, enquanto a temperatura de 20°C resultou em menor velocidade germinativa.

A porcentagem de germinação (GER) foi influenciada tanto pela temperatura quanto pelo substrato. As sementes germinadas em areia apresentaram maior percentual de germinação (49%) em comparação àquelas semeadas em papel (38%) (Figura 4A). Em relação à temperatura, os maiores percentuais de germinação foram observados a 20°C (50%) e 25°C (51%), não diferindo estatisticamente entre si, porém superior ao obtido a 30°C (30%) (Figura 4B).

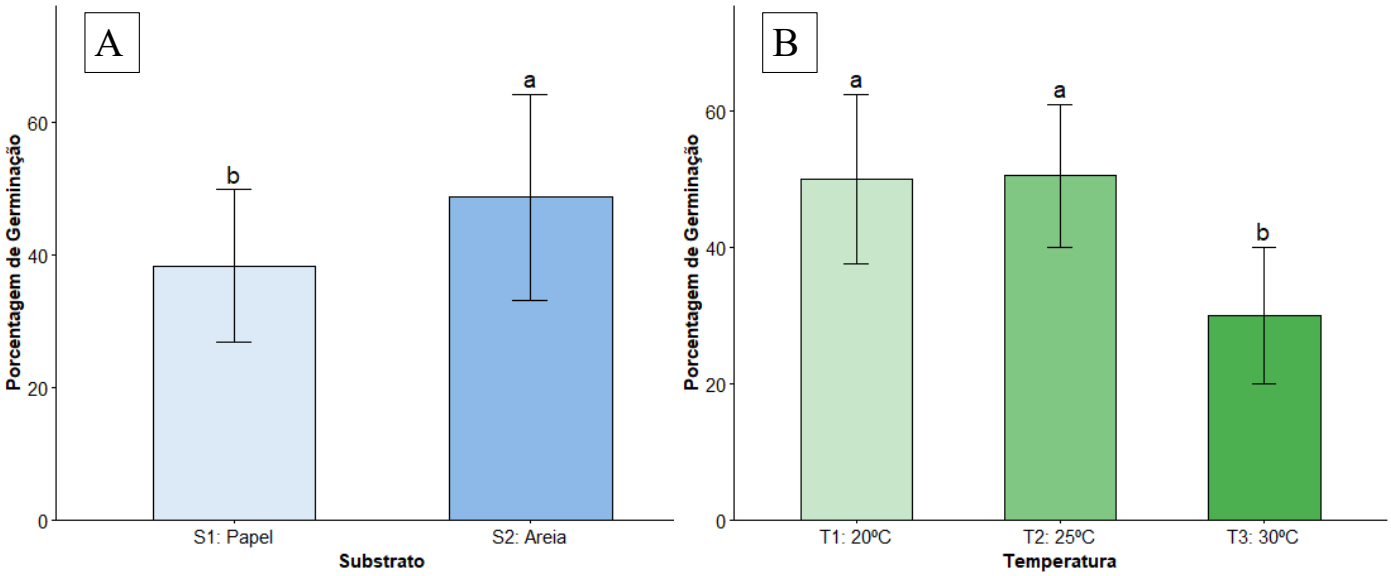


Figura 4. A) Porcentagem de germinação (GER) de aroeira nos substratos Papel Germitest e Areia. B) Porcentagem de germinação (GER) de aroeira em diferentes temperaturas (20ºC; 25ºC e 30ºC). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p<0,05$).

Em relação ao substrato, a maior porcentagem de germinação observada na areia demonstra que as condições proporcionadas por esse material favoreceram o potencial fisiológico das sementes de *Astronium*. No presente estudo, a superioridade da areia foi observada não apenas na porcentagem de germinação, mas também no comprimento das

plântulas, indicando que esse substrato proporcionou condições mais favoráveis tanto para a emissão da radícula quanto para o desenvolvimento inicial das plântulas.

Em condições de germinação em laboratório, o substrato desempenha papel fundamental ao atuar na retenção de umidade necessária para a embebição das sementes (OLIVEIRA et al., 2016). Considerando que o papel filtro é o substrato mais utilizado em testes de germinação, observa-se que seu uso pode não ser totalmente eficiente para determinadas espécies, podendo não refletir com precisão o real potencial germinativo (WALTER et al., 2025). Além disso, quando as sementes são acondicionadas em embalagens plásticas, pode ocorrer redução na disponibilidade de oxigênio, condição que, quando inferior à concentração atmosférica, tende a retardar o processo de germinação (OLIVEIRA et al., 2019). Associado a isso, o excesso de umidade pode favorecer processos de deterioração e apodrecimento das sementes, comprometendo o desempenho germinativo.

Por outro lado, o aumento da temperatura geralmente intensifica a velocidade das reações metabólicas, resultando em uma germinação mais rápida (SORANA et al., 2019). No entanto, no presente estudo, a permanência dos rolos de papel dentro de sacos plásticos e mantidos no interior dos germinadores pode ter favorecido a formação de um microclima com elevada umidade e menor troca gasosa, o que possivelmente influenciou negativamente o processo germinativo. Dessa forma, os resultados sugerem que a areia foi mais eficiente para promover a germinação e o desenvolvimento inicial de sementes de aroeira nas condições avaliadas.

A redução da germinação na temperatura de 30°C pode estar relacionada aos efeitos de temperaturas mais elevadas sobre o metabolismo das sementes. Embora essa condição tenha favorecido a velocidade de germinação, evidenciada pelos maiores valores de IVG, o aumento da atividade respiratória pode intensificar o consumo das reservas energéticas, reduzindo a eficiência do processo germinativo (CARVALHO e NAKAGAWA, 2012). Além disso, durante a condução do experimento foi observada maior incidência de fungos nessa temperatura, fator que pode ter contribuído para a redução da porcentagem de germinação. Segundo Felix *et al.* (2023), temperaturas mais elevadas podem favorecer o desenvolvimento de microrganismos, comprometendo o desempenho fisiológico das sementes e reduzindo seu potencial germinativo.

Dessa forma, observa-se que o substrato areia favoreceu o desenvolvimento das plântulas e a germinação, possivelmente por proporcionar melhor aeração e drenagem. Quanto à temperatura, à 25 °C demonstrou ser mais eficiente para a germinação de sementes de aroeira,

enquanto 30 °C, embora tenha favorecido o crescimento em comprimento, reduziu a porcentagem de plântulas germinadas.

CONCLUSÃO

O substrato e a temperatura exercem influência significativa sobre o desenvolvimento inicial de aroeira. Para o comprimento de plântula (CP), observou-se desempenho superior no substrato areia (4,81 cm), em comparação ao papel filtro (4,21 cm), indicando que a areia proporcionou melhores condições físicas, como maior aeração e drenagem. Em contrapartida, o substrato papel filtro apresentou limitações, possivelmente associadas ao excesso de umidade e maior incidência de fungos, fatores que podem ter comprometido o crescimento inicial das plântulas. Em relação à porcentagem de germinação (GER), verificou-se que o substrato areia apresentou maior desempenho (49%) em comparação ao papel filtro (38%). Quanto à temperatura, 20°C (50%) e 25°C (51%) proporcionaram maiores percentuais de germinação, enquanto 30°C reduziu significativamente esse valor (30%). Dessa forma, embora temperaturas mais elevadas favoreçam a velocidade de germinação e o crescimento inicial, também podem comprometer a germinação, possivelmente devido ao aumento da atividade metabólica, maior consumo de reservas e maior incidência de fungos.

Conclui-se que a condição ideal para a condução do teste de germinação de aroeira é a utilização do substrato areia associado à temperatura de 25°C, para o melhor desenvolvimento inicial com contagem final aos 14 dias.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, K. A. et al. Protocolos de germinação e vigor para a avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Joannesia princeps*. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.13, n.6, p.12-22, 2022.

BARTLETT, M. S. **Properties of sufficiency and statistical tests**. In: Kotz, S., Johnson, N.L. (eds) Breakthroughs in Statistics. Springer Series in Statistics, 1992.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras para Análise de Sementes**: quadro 14.1: métodos estabelecidos para testes de germinação em sementes de espécies florestais (rev. 1.1). Brasília, DF: MAPA/SDA, 2024.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para Análise de Sementes**. Brasília: MAPA/ACS, 2025.

CARDOSO, M. R. D. et. al. Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. **Acta Geog**, v. 8, n. 16, p.40-55, 2014.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência tecnologia e produção**. 5.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012.

FARIA, J. C. T. et al. Sewage sludge and rice husk as potential substrate to produce Mimosa setosa seedlings. **Advances in Forestry Science**, v. 7, n. 3, p. 1111-1119, 2020.

FÉLIX, F. C. et al. A condição climática de origem das árvores afeta a incidência de fungos e a qualidade de sementes de *Pityrocarpa moniliformis*? **Ciência Florestal**, v. 33, n. 2, p. e71378-e71378, 2023.

FERREIRA, D. R. G. et al. Temperature and light under the physiological potential of seeds of *Handroanthus impetiginosus*. **Bioscience Journal**, v. 36, n. 1, p. 68-77, 2020.

FRIZON, L. F. et al. Qualidade de mudas de aroeira do sertão (*Myracrodruon Urundeuva*) sob diferentes substratos orgânicos / Quality of aroeira do sertão (*Myracrodruon Urundeuva*) seedlings under different organic substrates. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 28137-28151, 2022.

HARTMANN, M.; MARQUES, E. Germination of *Corymbia citriodora* on different substracts. **Revista Agraria Academica**, v. 4, n. 4, p. 23-30, 2021.

KOUTSOVOULOU, K.; THANOS, C. A.; DASKALAKOU, E. N. Ecophysiology of seed germination in riparian trees and implications for restoration and conservation. **Plant Species Biology**, v. 40, n. 3, p. 233-244, 2025.

KRZYZANOWSKI, F. C. et al. **Testes de vigor baseados em desempenho de plântulas**. Vigor de sementes: conceitos e testes. Tradução. Londrina: Abrates, 2020.

LIMA, L. K. S. et al. Produção de mudas de aroeira-do-sertão (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) em resíduos orgânicos. **Ceres,** v. 64, n.1, p. 001-011, 2017.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.

NAKAGAWA, J. Testes de vigor baseados no desempenho das plântulas. In: KRZYZANOWSKI, F.C. et al. (Ed.) **Vigor de sementes:** conceitos e testes. Londrina: ABRATES, 1999. p.2.1-2.24.

OLIVEIRA, A. K. M. et al. Effect of different temperatures on the germination of *Callisthene major* (Vochysiaceae). **Floresta e Ambiente**, v. 27, n. 1, 2020.

OLIVEIRA, G. M. et al. Environmental stress, future climate, and germination of *Myracrodruon urundeuva* seeds. **Journal Seed Science**, v. 41, p. 32-43, 2019.

OLIVEIRA, M. C. et al. **Manual de viveiro e produção de mudas: espécies arbóreas nativas do Cerrado**. Brasília: Rede de Sementes do Cerrado, 2016.

OLIVEIRA, M. F. et al. Emergência de plântulas e desenvolvimento inicial de mudas de aroeira sob diferentes substratos / Emergency of seedlings and initial development of aroeira under different substrates. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 56093-56105, 2020.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024.

RIBEIRO, D. M. et al. Avaliação da germinação da carinata (*Brassica carinata*) em diferentes temperaturas e substrato de areia. **Revista delos**, v. 19, n. 76, p. e8337, 2026.

SGHAIER, A. H. et al. The effects of temperature and water on the seed germination and seedling development of rapeseed (*Brassica napus* L.). **Plants**, v. 11, n. 21, p. 2819, 2022.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (Complete Samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

SILVA, E. C. A. et al. **Influência da temperatura na germinação de sementes de *cedrela odorata* l**. Sustentabilidade, tecnologia e meio ambiente: tópicos atuais em pesquisa. Editora Cientifica. 2024.

SORANA, C. K. P. D. M., et al. Effects of temperature, substrate and luminosity conditions on chia seed germination. **Revista Caatinga**, v. 32, p. 411-418, 2019.

SOUSA, M. D. et al. Diagnóstico da vegetação remanescente de Mata Atlântica e ecossistemas associados em espaços urbanos. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, p.87-97, 2017.

STRASSBURG, B. B. N. et al. Moment of truth for the Cerrado hotspot. **Nature ecology & evolution**, v. 1, n. 4, p. 99, 2017.

VIEIRA, E. L. CARVALHO, Z. S. **Fisiologia de sementes: Parte I – formação e germinação de sementes.** Boletim Científico Agronômico do CCAAB/UFRB, v. 1, p. e2259, 2023.

VITÓRIA, R. Z. et al. Physiological quality seeds aroeira depending on the maturity of fruit under different germination temperatures. **Nucleus**, v. 15, n. 2, p. 575-582, 2018.

WALTER, L. S. et al. Substrate and temperature in germination of *Jatropha mollissima* (Euphorbiaceae). Iheringia, **Série Botânica**, v. 80, p. 1-6, 2025.

CAPÍTULO II: COMPOSTO PÉ DE BOI: ALTERNATIVA NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE AROEIRA

RESUMO

A produção de mudas de espécies florestais depende da utilização de substratos que proporcionem condições físicas, químicas e biológicas adequadas ao crescimento das plantas. Nesse contexto, objetivou-se avaliar o potencial do composto orgânico pé de boi como componente de substrato para a produção de mudas de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, com seis tratamentos: Controle (100% solo), SC 100% (100% substrato comercial Carolina *Soil*), SC 50% (50% solo + 50% Carolina *Soil*), PB 25% (75% solo + 25% composto pé de boi), PB 50% (50% solo + 50% composto pé de boi) e PB 75% (25% solo + 75% composto pé de boi), com seis repetições. Foram avaliados o índice de velocidade de emergência, altura, diâmetro do coleto, número de folhas e dano foliar aos 30, 60 e 90 dias após a semeadura, além da massa seca da parte aérea, massa seca radicular, massa seca total e índice de qualidade de Dickson aos 90 dias. Os dados foram submetidos à análise de deviance por meio de modelos lineares generalizados, e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Os tratamentos influenciaram significativamente todas as variáveis analisadas. Nas avaliações iniciais, o substrato comercial e a formulação contendo 25% do composto pé de boi promoveram maior velocidade de emergência e crescimento das mudas. Entretanto, aos 90 dias, as maiores proporções do composto proporcionaram maior altura, diâmetro do coleto, número de folhas e acúmulo de biomassa, evidenciando o efeito da liberação gradual de nutrientes. Apesar do desempenho superior das formulações com 50% e 75% do composto para a maioria das variáveis, essas proporções favoreceram maior compactação do substrato e reduziram a emergência das plântulas. Assim, a formulação contendo 25% do composto pé de boi mostrou-se a alternativa mais equilibrada, conciliando boa emergência, desenvolvimento satisfatório e potencial para substituir parcialmente o substrato comercial na produção de mudas de *Astronium urundeuva*.

Palavras-Chave: Composto orgânico; Espécies florestais; Produção de mudas; Qualidade de mudas; Restauração ecológica.

ABSTRACT

The production of forest seedlings depends on the use of substrates that provide adequate physical, chemical, and biological conditions for plant growth. In this context, the present study aimed to evaluate the potential of the organic "pé de boi" compost as a substrate component for the production of *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. seedlings. The experiment was conducted in a randomized complete block design with six treatments: Control (100% soil), SC 100% (100% Carolina *Soil* commercial substrate), SC 50% (50% soil + 50% Carolina *Soil*), PB 25% (75% soil + 25% pé de boi compost), PB 50% (50% soil + 50% pé de boi compost), and PB 75% (25% soil + 75% pé de boi compost), with six replicates. The evaluated variables included emergence speed index, seedling height, stem diameter, number of leaves, and leaf damage at 30, 60, and 90 days after sowing, as well as shoot dry mass, root dry mass, total dry mass, and the Dickson Quality Index at 90 days. Data were analyzed using generalized linear models through deviance analysis, and treatment means were compared using Tukey's test ($p \leq 0.05$). The treatments significantly affected all evaluated variables. During the initial evaluations, the commercial substrate and the formulation containing 25% pé de boi compost promoted higher emergence speed and seedling growth. However, 90 days after sowing, the highest proportions of the compost resulted in greater seedling height, stem diameter, number of leaves, and biomass accumulation, demonstrating the effect of gradual nutrient release. Although the formulations containing 50% and 75% compost produced the highest values for most growth variables, these proportions also increased substrate compaction and reduced seedling emergence. Therefore, the formulation containing 25% pé de boi compost proved to be the most balanced alternative, combining satisfactory emergence, adequate seedling development, and the potential to partially replace the commercial substrate in the production of *Astronium urundeuva* seedlings.

Keywords: Organic compost; Forest species; Seedling production; Seedling quality; Ecological restoration.

INTRODUÇÃO

O Brasil possui a segunda maior cobertura florestal do mundo, com cerca de 58% de seu território ocupado por florestas, o que corresponde a aproximadamente 495 milhões de hectares. Desse total, 98% são formados por florestas nativas, enquanto 1,9% correspondem a áreas de florestas plantadas (SNIF, 2022a). As florestas nativas desempenham um papel crucial na regulação do clima, no sequestro de carbono, na conservação do solo, na preservação dos recursos hídricos e na manutenção do ciclo das chuvas (SNIF, 2022b). No entanto, Oliveira (2022) ressalta que essas áreas vêm sofrendo pressões constantes, como o desmatamento para fins comerciais e o aumento das queimadas.

O bioma Cerrado apresenta ampla diversidade de espécies animais e vegetais, abrangendo cerca de 2 milhões de km^2, o que representa cerca de 23% do território brasileiro. Além de sua importância ecológica, destaca-se também como uma das principais fronteiras agrícolas do país, com produção em larga escala de soja voltada principalmente para exportação (IBGE, 2024; LOAYZA et al., 2023). O bioma concentra ainda grande parte da pecuária bovina nacional, cuja intensificação produtiva tem promovido maior utilização das áreas de pastagem por meio da adoção de tecnologias e de práticas de manejo mais eficientes. Nesse cenário, o manejo adequado das pastagens torna-se essencial para manter a capacidade produtiva desses sistemas e evitar processos de degradação (FERREIRA; MIZIARA e VÁZQUEZ-GONZÁLEZ, 2022).

Nesse contexto, o superpastejo é um dos principais fatores de degradação do solo, estando diretamente associado a práticas de manejo inadequadas, que ocasionam a compactação do solo e a redução do vigor das plantas forrageiras (OLIVEIRA, SOUZA E ASSUNÇÃO, 2024). Essas condições favorecem o surgimento de plantas invasoras, intensificam os processos erosivos e aumentam a suscetibilidade das áreas ao ataque de pragas (DIAS-FILHO, 2025).

A demanda por espécies florestais para a recomposição de áreas nativas e degradadas tem levado os produtores a buscarem maneiras de atender a essa necessidade. Para isso, muitos recorrem aos viveiros para produção de mudas, principalmente de origem nativa (CARNEIRO e VIEIRA, 2020). Dentre as espécies nativas utilizadas em programas de reflorestamento, destaca-se a aroeira (*Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.), espécie arbórea nativa da América do Sul e de ampla distribuição natural no Brasil. No território brasileiro, apresenta ocorrência registrada em diferentes biomas, como a Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal (FLORA E FUNGA DO BRASIL, 2025).

A aroeira possui uma madeira resistente, utilizada na construção civil, na produção de estacas, mourões e para construções externas, pois é resiliente ao apodrecimento e ao ataque de pragas (PAREYN et al., 2018; SILVA et al., 2018; FARIAS e MELO, 2020). Além disso,

apresenta potencial medicinal, sendo relatadas propriedades analgésicas, cicatrizantes, antinflamatórias e antifúngicas advindas em diferentes partes da planta, como folhas, cascas e raízes (MATOS et al., 2019; LIMA et al. 2019). Seus frutos apresentam importância na produção de óleos essenciais, utilizados na fabricação de cosméticos devido as suas propriedades aromáticas (CARVALHO, 2024) e suas flores possuem elevado valor apícola e meliponícola, podendo contribuir como uma forma alternativa de renda para agricultores familiares (SILVA et al., 2026).

Essa espécie é considerada uma das mais promissoras entre as árvores nativas para o enriquecimento e recomposição de reservas legais, além da recuperação de áreas degradadas, devido ao seu valor econômico, sua adaptação a diferentes condições climáticas e sua alta tolerância à seca (OLIVEIRA et al., 2020). A aroeira, por ser bastante exigente em nutrientes, requerendo adubação rica em macro e micronutrientes na produção de suas mudas (PAES et al., 2019). Nesse sentido, a utilização de adubo orgânico, além de ser amplamente aceita em sistemas produtivos agroecológicos ou orgânicos, contribui para melhorar a infiltração de água e a aeração do solo, promovendo um ambiente favorável ao desenvolvimento das mudas e, consequentemente, potencializando a produtividade agrícola (ALVES et al., 2021).

A formulação do substrato deve ser compatível com as exigências específicas das mudas a serem produzidas. Entre os aspectos físicos destacam-se a estrutura, a textura e a porosidade, que influenciam diretamente a retenção de água e a aeração do sistema radicular (FARIA et al., 2020), e fatores como o pH e a fertilidade são determinantes para a disponibilidade de nutrientes. Nesse sentido, a definição do substrato a ser utilizado representa um fator determinante para o desempenho das mudas, influenciando seu crescimento vegetativo e vigor até a etapa de plantio em condições de campo.

Alguns resíduos orgânicos, como o esterco, são amplamente utilizados na produção de mudas por estarem associados à sua aptidão em modificar as propriedades físicas e químicas do solo, o que tende a favorecer o desenvolvimento das plantas, sobretudo quando o solo é empregado diretamente como parte do substrato. Outro fator essencial é possuir em sua composição elevados teores de nitrogênio (N), sendo este um dos macronutrientes essenciais exigidos pelas plantas para crescimento e fotossíntese (VIEIRA e ARAUJO, 2024).

O esterco bovino tem se mostrado uma alternativa promissora na formulação de substratos alternativos, devido à sua ampla disponibilidade, baixo custo e elevado valor nutricional. Esses atributos o tornam um insumo relevante na seleção de materiais para compor substratos, especialmente em sistemas de produção sustentáveis de menor custo (BRILHANTE et al., 2020; ALVES et al., 2020). A partir do aproveitamento desse potencial, o Composto Pé de Boi, substrato utilizado no trabalho, surge como uma alternativa para a produção de mudas,

sendo constituído pela associação de material orgânico e pó de rocha. A utilização desses materiais busca aliar o aproveitamento de resíduos da atividade pecuária ao uso de fontes minerais, possibilitando a obtenção de um composto com potencial para fornecer nutrientes e melhorar as condições de desenvolvimento das mudas.

Dada a importância da aroeira, amplamente utilizada em arranjos florestais e com um papel fundamental na recuperação de ambientes degradados e desmatados, um dos principais desafios na produção de mudas florestais nativas é a escassez de estudos. Todavia, sabe-se que a utilização de mudas para a recuperação de áreas degradadas depende da qualidade das mudas produzidas, do tipo de recipiente e do substrato utilizado (FRIZON, 2022). Nesse sentido, avaliar a utilização do Composto Pé de Boi na produção de mudas de aroeira pode contribuir para identificar alternativas de substrato capazes de favorecer o crescimento e o desenvolvimento da espécie.

OBJETIVO

Avaliar o efeito de diferentes proporções do substrato orgânico composto Pé de Boi na produção de mudas nativas de aroeira (*Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl.) na região sul do estado de Goiás.

MATERIAL E MÉTODOS

Local do Experimento

O experimento foi conduzido na Universidade Estadual de Goiás - UEG, Unidade Universitária de Ipameri, na região sul do estado de Goiás. O teste aconteceu em casa de vegetação, com dimensões 30×7×3,5 m, construída em estrutura metálica, coberta em sombrite 50%, localizada sob coordenadas 17°42'56"S e 48°08'38"W, sob altitude de 789 m (Figura 1)

O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo AW - Tropical com estação seca no inverno e verão úmido, apresentando temperaturas médias de 18°C (inverno), 30°C (verão) e média anual de 20°C (CARDOSO et al., 2014).

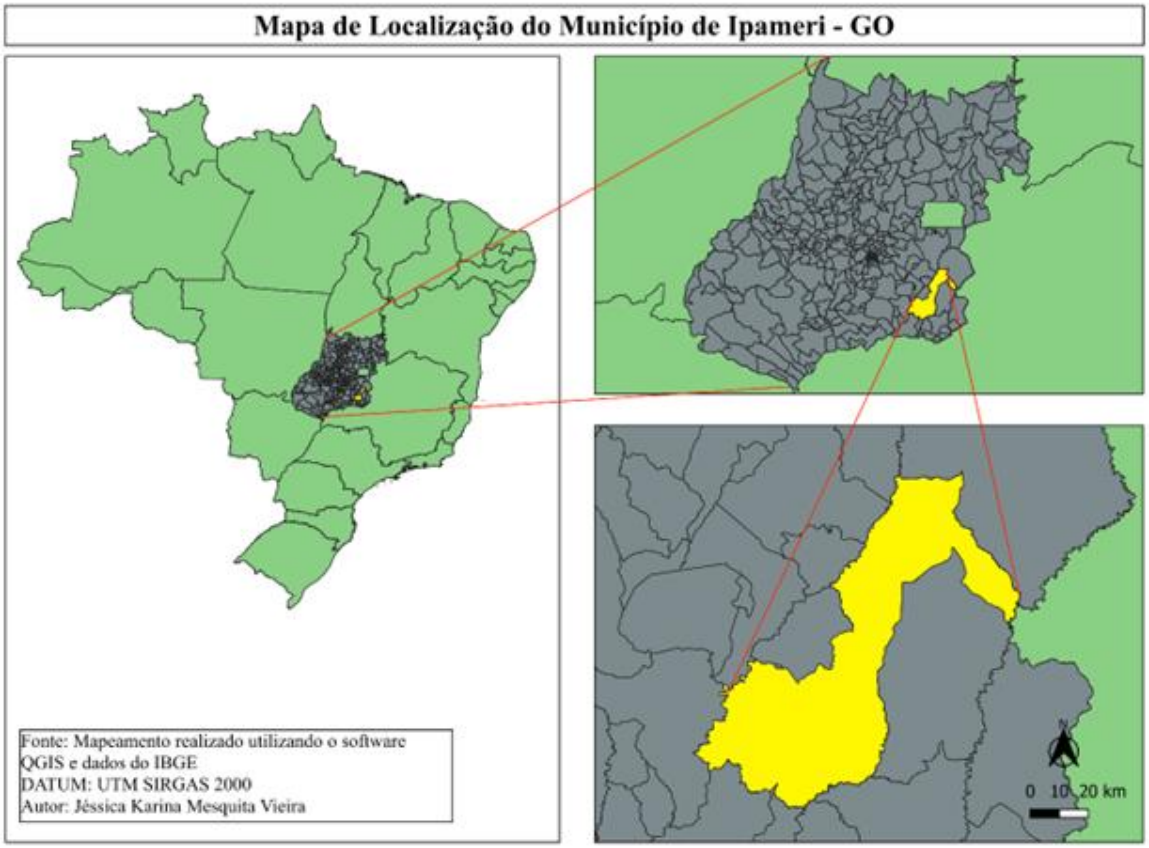


Figura 1. Localização do Município de Ipameri-GO, situada na Universidade Estadual de Goiás – UEG, Unidade Universitária de Ipameri, onde está presente a área experimental do projeto.

O solo utilizado no experimento foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (SANTOS et al., 2025), proveniente da Universidade Estadual de Goiás. Após a coleta, foi obtida uma amostra final de aproximadamente 400g para caracterização química do solo. Para a utilização no experimento, o solo foi previamente peneirado, sendo utilizado no preparo dos substratos. As características químicas do solo são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Caracterização química do material orgânico utilizado na produção do composto Pé de Boi.

pH (CaCl2)	Ca + Mg (cmolc/dm^{-3})	Ca (cmolc/dm^{-3})	Mg (cmolc/dm^{-3})	Al (cmolc/dm^{-3})	H + Al (cmolc/dm^{-3})
4,2	0,9	0,7	0,2	0,3	4

K (cmolc/dm^{-3})	K (mg/dm^{-3})	P (mg/dm^{-3})	CTC (cmolc/dm^{-3})	Saturação por bases (V) (%)	Saturação por Al (m) (%)
0,1	39	1,1	5	20	23,1

O experimento utilizou o composto Pé de Boi, produzido em área de criação bovina na Fazenda Morro do Peão, localizada na região de Urutaí-GO. O composto foi obtido a partir da mistura de fezes e urina bovinas com pó de rocha, submetida ao processo de fermentação diretamente no solo do curral, por meio do pisoteio dos bovinos, dando origem ao composto denominado Pé de Boi. Essa compostagem tem o intuito de melhorar o processo de aproveitamento de resíduos dos currais de confinamento por meio da produção de um composto organomineral com potencial de uso agrícola e florestal. A caracterização dos materiais utilizados na produção do composto é apresentada nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Caracterização química do material orgânico utilizado na produção do composto Pé de Boi.

N	P_2O_5 Total	P_2O_5 CNA+Água	K_2O
0,6	0,95	0,75	1,48

Tabela 3. Caracterização química do pó de rocha utilizado na produção do composto Pé de Boi.

pH	K_2O	CaO	MgO	SiO_2	Umidade (105°C)	Passante em 2 mm	Passante em 0,84 mm	Passante em 0,30 mm	Soma de bases
8,8	3,6	2,4	4,2	51,5	1,3	100	100	100	10,2

Além do composto Pé de boi, foi utilizado o substrato comercial Carolina *soil.* O produto apresenta composição à base de turfa de *Sphagnum*, vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola e fertilizante NPK em traços, sendo suas principais características apresentadas na tabela 4, conforme especificações técnicas do fabricante.

Tabela 4. Característica do substrato comercial Carolina *soil* utilizada no experimento.

pH	Condutividade elétrica	Densidade	Capacidade de retenção de água	Umidade máxima
5,5 ± 0,5	0,7 ± 0,3	145 kg m -3	55%	50%

As sementes de aroeira foram obtidas por meio da Rede de Sementes do Projeto de Integração do São Francisco (PISF), uma iniciativa promovida e gerenciada pelo Núcleo de Ecologia e Monitoramento Ambiental da Universidade Federal do Vale do São Francisco (NEMA/UNIVASF) com apoio financeiro do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR).

Delineamento Experimental

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados (DBC), utilizando-se bandejas de produção de mudas como blocos, com seis tratamentos e seis repetições. A adoção desse experimento teve como objetivo controlar a variabilidade ambiental existente no viveiro, decorrente de possíveis diferenças na incidência de luz, temperatura e umidade entre as posições das bandejas, de forma a reduzir o erro experimental e aumentar a precisão da comparação entre os tratamentos (COSTA, 2003; BANZATTO e KRONKA, 2013). Os tratamentos foram aplicados nas seguintes proporções: Controle – 100% solo; SC100 – 100% substrato comercial Carolina *soil*; SC50 – 50% solo e 50% substrato comercial Carolina *soil*; PB50 – 50% de solo e 50% do composto pé de boi; PB75 – 75% do composto pé de boi e 25% de solo; PB25 – 75% de solo e 25% do composto pé de boi.

A unidade amostral foi constituída por seis bandejas, nas quais os tubetes foram preenchidos com Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, substrato comercial Carolina *Soil* e composto pé de boi. Tanto o solo quanto os substratos foram previamente peneirados em malha nº 55, com o objetivo de padronizar o tamanho das partículas e homogeneizar os tratamentos, sendo posteriormente acondicionados em tubetes com dimensões de 140 × 47 mm. Em cada bandeja, foram semeadas 54 sementes de *Astronium urundeuva*, a aproximadamente 2 cm de profundidade, uma por tubete, totalizando 378 sementes. A irrigação foi realizada diariamente, por meio de mangueira, no início da manhã e ao final da tarde, de modo a manter o substrato úmido, próximo à sua capacidade de retenção de água, evitando o encharcamento.

Variáveis Avaliadas

No período de 90 dias após o plantio das mudas de *A. urundeuva*, foram realizadas as seguintes avaliações: Índice de Velocidade de Emergência (IVE), calculado observando quantas sementes geraram plântulas em relação ao número total de sementes plantadas. O cálculo foi realizado seguindo a metodologia proposta por Maguire (1962):

$$IVE = \frac{E1}{N1} + \frac{E2}{N2} + \cdots + \frac{En}{Nn}$$

Em que: IVE é o índice velocidade de emergência; E1, E2,... En é o número de plântulas emergidas a cada dia; N1, N2,... Nn é o número de dias decorridos da semeadura da primeira até a última contagem.

A Altura da Muda (ALT): a altura foi medida do colo até o ápice da planta, em centímetros, utilizando uma régua graduada. O Diâmetro do Coleto (DC) foi medido com o auxílio de um paquímetro digital, a aproximadamente um centímetro acima da superfície do substrato, em milímetros. O Número de Folhas (NF) foi obtido por meio da contagem do número de folhas por muda, durante o crescimento das plantas. A variável Dano (DN) foi avaliada por meio de uma escala visual de notas variando de 0 a 6, estabelecida de acordo com a intensidade dos danos observados nas mudas. A atribuição de notas foi realizada individualmente, considerando a presença e a intensidade dos sintomas visuais apresentados pelas plantas, de modo que a menor nota correspondeu à ausência de danos (0) e a maior nota à condição de maior intensidade de dano (6). A avaliação foi realizada visualmente nas mudas durante o período de 60 a 90 dias.

Após o período de 90 dias, quando as mudas atingiram um estágio de crescimento inicial estável, conforme Freitas et al. (2022), foram realizadas as seguintes análises destrutivas: Massa Seca da Parte aérea e da Parte radicular, no qual as mudas foram secas em estufa com ventilação forçada a 65 ºC por 96 horas. Após a secagem, foi realizada a pesagem do material em balança analítica (KRZYZANOWSKI et al., 2020).

Além destes, obteve-se ainda o Índice de Qualidade das Mudas (IQD), que foi calculado conforme a equação proposta por Dickson, Leaf e Hosner (1960), que considera a relação entre a massa seca total, a altura da muda, o diâmetro do coleto e a proporção entre a massa seca da parte aérea e das raízes. Esse índice é amplamente utilizado para avaliar a qualidade geral das mudas e sua capacidade de estabelecimento após o plantio conforme equação a seguir:

$$IQD = \frac{MST}{\left(\frac{H}{DC} + \frac{MSPA}{MSR}\right)}$$

Em que: IQD é o índice de qualidade de Dickson; MST é a massa seca total da muda (g); H é a altura da muda (cm); DC é o diâmetro do coleto (mm); MSPA é a massa seca da parte aérea (g); MSR é a massa seca da raiz (g).

Análises Estatísticas

Inicialmente, os dados foram submetidos aos testes de normalidade (SHAPIRO e WILK, 1965) e de homogeneidade de variância (BARTLETT, 1992), com o objetivo de verificar o atendimento aos pressupostos da análise de variância (PIMENTEL-GOMES, 1990; BANZATTO e KRONKA, 2013). Como tais pressupostos não foram atendidos, optou-se pela utilização de Modelos Lineares Generalizados (GLMs), por constituírem uma abordagem adequada para a análise de variáveis que não seguem distribuição normal, permitindo a adoção de distribuições de probabilidade compatíveis com a natureza de cada variável resposta (NELDER e WEDDERBURN, 1972; DOBSON e BARNETT, 2018).

Para as variáveis de contagem (número de folhas e dano) foi utilizada a distribuição de Poisson com função de ligação log, enquanto para as variáveis contínuas (altura, diâmetro do coleto, massa fresca total, massa seca total, massa seca da parte aérea, massa seca do sistema radicular e índice de qualidade de Dickson), positivas e assimétricas, foi empregada a distribuição Gamma com função de ligação log. Além disso, a utilização dos GLMs possibilitou preservar a estrutura do delineamento em blocos casualizados (DBC), incorporando ao modelo os efeitos de tratamentos e blocos. A significância dos efeitos dos tratamentos e blocos foi avaliada por meio da análise de deviance, baseada no teste da razão de verossimilhança, considerando nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$).

Quando verificado efeito significativo dos tratamentos, foram estimadas as Médias Marginais Estimadas (*Estimated Marginal Means* – EMMs), retransformadas para a escala original dos dados (*back-transformed*). As comparações múltiplas entre as médias dos tratamentos foram realizadas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Todas as análises estatísticas e a elaboração dos gráficos foram realizadas no software R, versão 4.4.1 (R CORE TEAM, 2024), utilizando os pacotes *tidyverse* (WICKHAM et al., 2019), *emmeans* (LENTH, 2024) e *multcomp* (HOTHORN; BRETZ e WESTFALL, 2008). Em todas as análises estatísticas foi adotado o nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos avaliados apresentaram efeito significativo ($p<0,001$) para todas as variáveis analisadas (Tabela 5), indicando que as diferentes proporções dos substratos influenciaram o desenvolvimento das mudas de aroeira. Por outro lado, não foi verificado efeito significativo dos blocos com as variáveis analisadas, evidenciando adequada uniformidade experimental.

Tabela 5. Análise de deviance (Dev.) das variáveis para índice de velocidade de emergência (IVE), altura (ALT), diâmetro do coleto (DC) e número de folhas (NF) em mudas de aroeira aos 30 dias após a semeadura, sob diferentes proporções de substratos.

Fonte de Variação	GL	IVE (Dev.)	ALT (Dev.)	DC (Dev.)	NF (Dev.)
Tratamentos	5	$14,233^{***}$	$7,812^{***}$	$8,010^{***}$	$14,085^{*}$
Blocos	5	$0,995^{ns}$	$0,448^{ns}$	$0,981^{ns}$	$0,794^{ns}$
Resíduo	25	16,179	23,765	20,774	14,017

Os valores apresentados correspondem à estatística de deviance obtida pelo teste da razão de verossimilhança. *** - significativo a 0,1%; * - significativo a 5% de probabilidade; ns – não significativo, pelo teste de qui-quadrado (χ^2). GL - grau de liberdade.

Para o índice de velocidade de emergência (Figura 2), os tratamentos Controle, SC 100%, SC 50% e PB 25% não diferiram estatisticamente entre si, apresentando os maiores valores para esta variável. O que favoreceu um desenvolvimento mais rápido e uniforme no crescimento inicial da aroeira, em decorrência da melhor disponibilidade de nutrientes e maior retenção de água (SILVA et al., 2026). Por outro lado, os tratamentos com maiores proporções de composto pé de boi (PB 50% e PB 75%) apresentaram menores valores de IVE (0,3; 0,2 respectivamente), diferindo significativamente dos demais. Esse comportamento pode estar relacionado às propriedades físicas do substrato, uma vez que maiores proporções de composto orgânico podem reduzir a aeração, prejudicando a manutenção da umidade e dificultando a emergência das plântulas (BRITO; OLIVEIRA e MORAES, 2024).

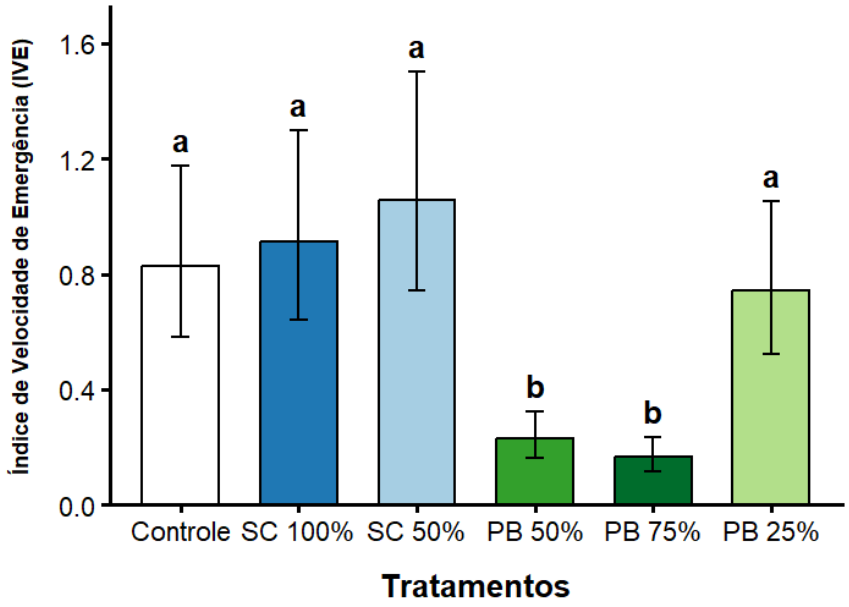


Figura 2. Índice de velocidade de emergência da aroeira no período de 30 dias após a semeadura em diferentes substratos. Controle (100% solo); SC (substrato comercial Carolina *soil);* PB (composto pé de boi). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p<0,05$).

O comportamento observado para a altura da muda (Figura 3) e diâmetro do coleto apresentou tendência semelhante ao índice de velocidade de emergência. Para altura, o tratamento SC100% proporcionou o maior valor (9cm), diferindo estatisticamente do tratamento PB75%, que apresentou o menor crescimento (2cm). Os demais tratamentos apresentaram valores intermediários, porém, superiores ao PB75%.

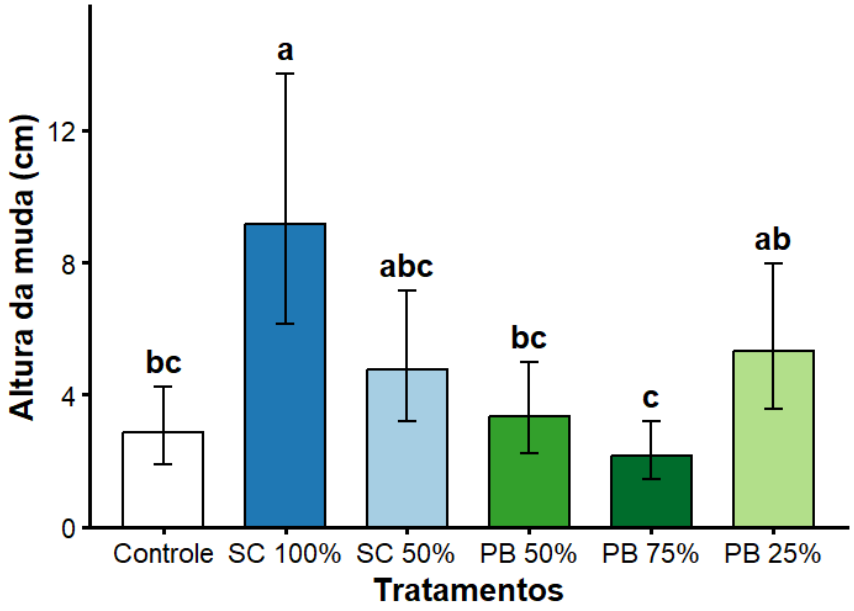


Figura 3. Altura da muda da aroeira no período de 30 dias após a semeadura em diferentes substratos. Controle (100% solo); SC (substrato comercial Carolina *soil*); PB (composto pé de boi). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p<0,05$).

Para o diâmetro do coleto (Figura 4), os tratamentos SC100% e PB25% não diferiram significativamente, sendo superiores comparados às maiores proporções do composto PB50% e PB75%, com valores de 0,4 mm e 0,3 mm, respectivamente.

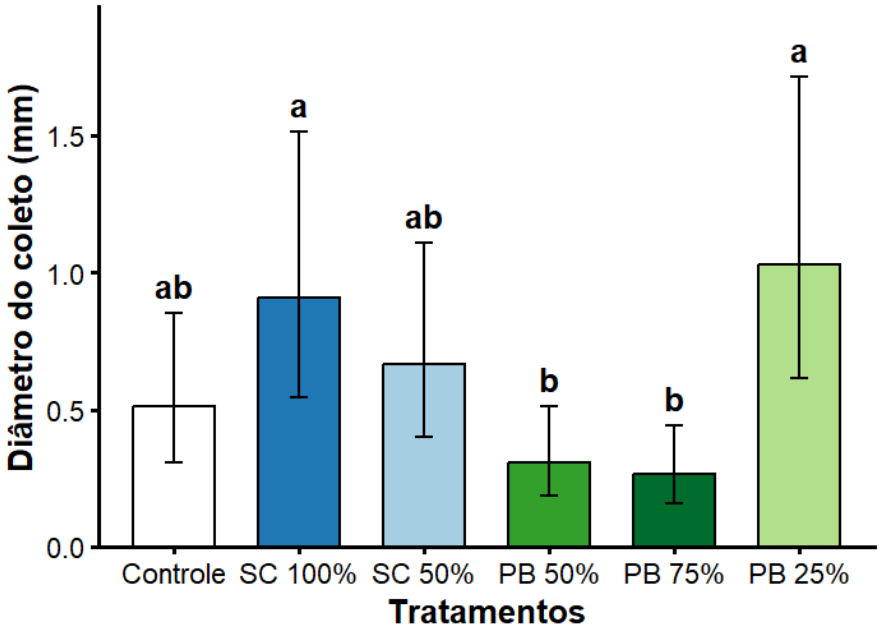


Figura 4. Diâmetro do coleto da aroeira no período de 30 dias após a semeadura em diferentes substratos. Controle (100% solo); SC (substrato comercial Carolina *soil*); PB (composto pé de boi). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p<0,05$).

Esses resultados indicam que a composição do substrato influenciou diretamente o crescimento das mudas, sendo que formulações de maior proporção do substrato comercial favoreceram o desenvolvimento em altura e diâmetro, juntamente com a menor proporção do composto (PB25%), enquanto o composto pé de boi, utilizado em maiores proporções, limitou esse crescimento. O menor desenvolvimento das mudas nas maiores proporções do composto pode estar relacionado ao desequilíbrio das propriedades físicas e químicas do substrato.

Embora os resíduos orgânicos promovam melhorias na estrutura e no fornecimento de nutrientes, sua utilização em proporções elevadas pode resultar no excesso de sais e nutrientes disponíveis, comprometendo o crescimento e o desenvolvimento inicial das mudas (CARNEIRO e VIEIRA, 2020). Lima et al. (2017), ao avaliarem o crescimento de mudas de aroeira em diferentes proporções de resíduos orgânicos, verificaram que maiores concentrações de esterco bovino comprometeram o desenvolvimento das plantas, atribuindo esse efeito à

possível toxicidade decorrente do excesso de nutrientes disponíveis no substrato. Embora os compostos orgânicos sejam importantes para melhorar as características físicas, químicas e biológicas dos substratos, sua utilização deve ocorrer em proporções adequadas, de modo a evitar efeitos adversos sobre o crescimento e a qualidade das mudas.

Para o número de folhas (Figura 5), observou-se que o tratamento SC 100% apresentou a maior média (5), diferindo estatisticamente do tratamento PB 75%, que resultou no menor valor para a variável (1). Os tratamentos Controle, SC 50%, PB 50% e PB 25% apresentaram comportamento intermediário, não diferindo entre si. Reforçando o padrão observado para os índices de velocidade de emergência, altura e diâmetro, indicando que substratos com maior proporção do comercial favoreceram o desenvolvimento inicial das mudas para a avaliação de 30 dias. O número de folhas está diretamente relacionado à capacidade fotossintética das plantas, sendo determinante para o acúmulo de biomassa e crescimento, de modo que maiores valores dessa variável refletem maior eficiência no aproveitamento dos recursos disponíveis no substrato e maior vigor radicular (PENG et al., 2025).

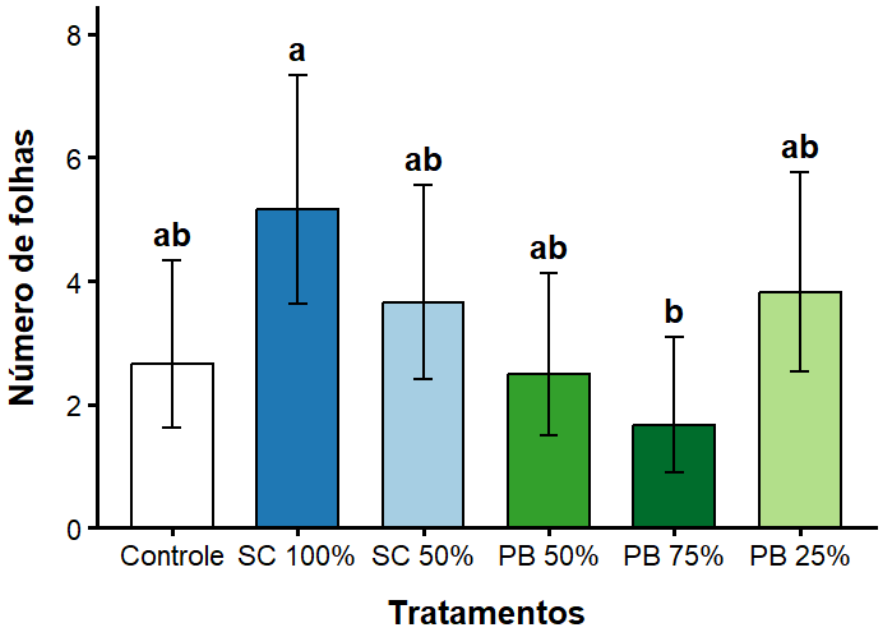


Figura 5. Número de folhas da aroeira no período de 30 dias após a semeadura em diferentes substratos. Controle (100% solo); SC (substrato comercial Carolina *soil*); PB (composto pé de boi). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p<0,05$).

Por outro lado, a redução no crescimento das mudas em maiores proporções do composto pode estar associada às limitações físicas do substrato. A presença de pó de rocha, especialmente em granulometria fina, aliada ao esterco bovino, pode ter contribuído para o adensamento do material ao longo do período experimental, reduzindo a macroporosidade e a

aeração do substrato. Essa condição pode restringir o desenvolvimento do sistema radicular, comprometendo a absorção de água e nutrientes e, consequentemente, o crescimento das mudas (ARMAH et al., 2025).

O equilíbrio entre componentes orgânicos e minerais é essencial para o desenvolvimento das mudas, uma vez que o excesso de matéria orgânica pode limitar a emissão de novas folhas e comprometer o crescimento das plantas. O uso de esterco bovino em altas doses podem vir a reduzir variáveis como o índice de velocidade de emergência, o número de folhas, a altura e o diâmetro de mudas, de modo que não se recomenda aplicar o esterco bovino em proporções superiores a 20% em substratos para mudas, sob risco de comprometer o desenvolvimento inicial das plantas em decorrência de possível toxidez (ANDRADE et al., 2022; ACEVEDO ALCALÁ et al., 2021).

Na segunda avaliação, observou-se efeito significativo dos tratamentos sobre todas as variáveis analisadas (Tabela 6), evidenciando a continuidade da influência das diferentes proporções de substrato no desenvolvimento das mudas no período de 60 dias após a semeadura.

Tabela 6. Análise de deviance (Dev.) das variáveis para altura (ALT), diâmetro do coleto (DC), número de folhas (NF) e dano (DN) em mudas de aroeira aos 60 dias após a semeadura sob diferentes proporções de substratos.

Fonte de Variação	GL	ALT (Dev.)	DC (Dev.)	NF (Dev.)	DN (Dev.)
Tratamentos	5	$4,833^{***}$	$4,255^{***}$	$25,327^{***}$	$18,554^{**}$
Blocos	5	$0,870^{ns}$	$1,334^{ns}$	$3,398^{ns}$	$3,506^{ns}$
Resíduo	25	23,076	19,235	23,177	21,675

Os valores apresentados correspondem à estatística de deviance obtida pelo teste da razão da verossimilhança. *** - significativo a 0,1%; ** - significativo a 1% de probabilidade; ns – não significativo, pelo teste de qui-quadrado (χ^2). GL - grau de liberdade.

Foi possível observar que a diferença estatística entre os tratamentos para as variáveis de crescimento reforça o desempenho das mudas de aroeira diretamente relacionado às características físicas e à composição química dos substratos ao longo do tempo. Observou-se que o substrato comercial (SC 100%) e a formulação do composto PB 25% proporcionaram os melhores resultados para altura com 11 e 11,5 cm respectivamente (Figura 6), superiores ao Controle (100% solo) que obteve o menor desempenho (4 cm), evidenciando que níveis moderados de matéria orgânica e disponibilidade de nutrientes adequada favorecem o desenvolvimento inicial da espécie. Os tratamentos SC 50%, PB 50% e PB 75% apresentaram comportamento intermediário, não diferindo entre si.

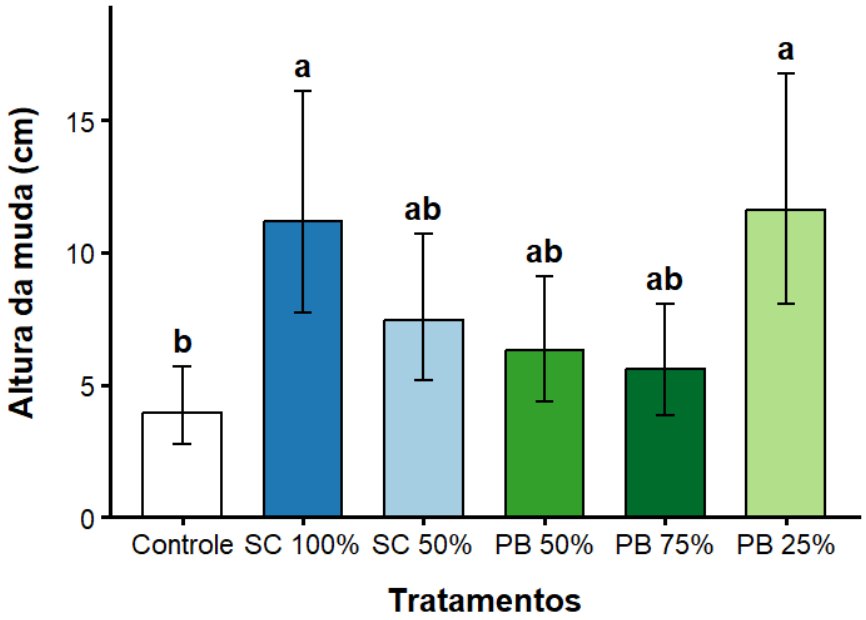


Figura 6. Altura das mudas de aroeira no período de 60 dias após a semeadura em diferentes substratos. Controle (100% solo); SC (substrato comercial Carolina *soil*); PB (composto pé de boi). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p<0,05$).

O bom desempenho observado para o substrato comercial pode estar relacionado à sua composição padronizada, desenvolvida para proporcionar condições físicas e químicas favoráveis ao desenvolvimento inicial das mudas em viveiro. Segundo Rodrigues et al. (2025), a adoção de substratos comerciais está associada à busca por formulações mais controladas, capazes de fornecer uma combinação equilibrada de nutrientes e propriedades físicas que promovem maior uniformidade no crescimento das plantas.

O mesmo padrão observado para a altura foi verificado para o diâmetro do coleto (Figura 7), em que o tratamento contendo 100% do substrato comercial e a formulação com 25% do composto pé de boi apresentaram as maiores médias, de 1,4 e 1,5 mm, respectivamente, superando o Controle (100% solo) e o tratamento contendo 75% do composto. Esses resultados indicam que, aos 60 dias após a emergência, tanto o substrato comercial quanto a menor proporção do composto proporcionaram condições mais favoráveis ao desenvolvimento estrutural das mudas.

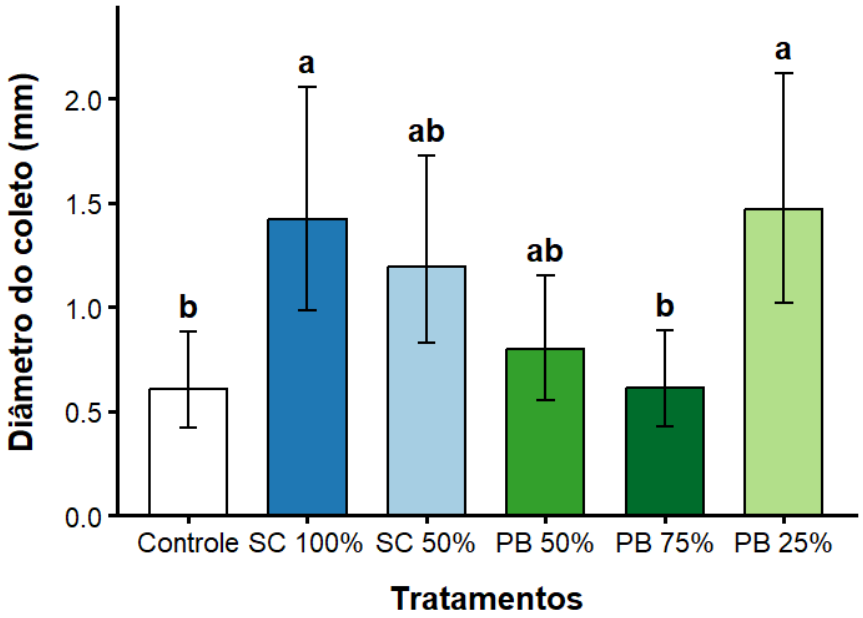


Figura 7. Diâmetro do coleto (mm) da muda de aroeira no período de 60 dias após a semeadura em diferentes substratos. Controle (100% solo); SC (substrato comercial Carolina *soil*); PB (composto pé de boi). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p<0,05$).

O diâmetro do coleto é considerado um dos principais indicadores da qualidade de mudas florestais, por estar diretamente relacionado à robustez, à resistência mecânica e ao potencial de sobrevivência após o transplantio (CRUZ et al., 2016). Nesse sentido, os maiores valores observados para o substrato comercial podem estar associados às suas características físicas e químicas, que favorecem o crescimento equilibrado das mudas, proporcionando melhor desenvolvimento do sistema radicular e maior eficiência na absorção de água e nutrientes, o que se reflete em uma distribuição mais eficiente dos fotoassimilados entre a parte aérea e as raízes (BORCIONI et al., 2026). Por sua vez, o bom desempenho da formulação contendo 25% do composto pé de boi pode estar relacionado ao fornecimento equilibrado de macronutrientes, especialmente nitrogênio, fósforo e potássio (NPK), bem como à melhoria das condições de fertilidade do substrato, fatores que favorecem o crescimento inicial e a formação de mudas de maior qualidade (VIEIRA et al., 2022).

Para a variável número de folhas (Figura 8), o substrato comercial (SC 100%) e a formulação contendo 25% do composto pé de boi apresentaram os maiores valores, 8 e 9 respectivamente, superiores ao Controle (100% solo) que obteve a menor média entre todos os tratamentos (3). O bom desenvolvimento inicial do substrato comercial pode ter sido em decorrência de seus componentes, como a turfa e a vermiculita, que contribuem para adequada aeração e boa drenagem, características que favorecem o crescimento radicular, aumentam a

eficiência na absorção de água e nutrientes e, consequentemente, refletem em maior incremento nas variáveis de crescimento das mudas (DONG et al., 2021).

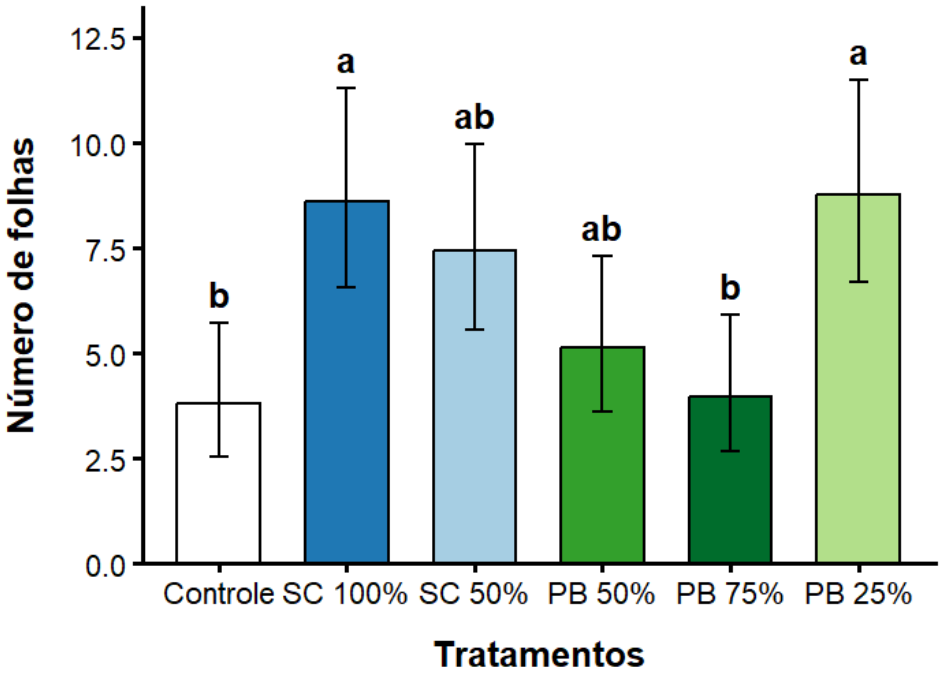


Figura 8. Número de folhas da muda de aroeira no período de 60 dias após a semeadura em diferentes substratos. Controle (100% solo); SC (substrato comercial Carolina *soil*); PB (composto pé de boi). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p<0,05$).

A análise de deviance revelou efeito significativo a 1% de probabilidade dos tratamentos sobre o dano foliar (DN) com 18,554**. Este resultado indica que, os substratos testados influenciaram os níveis de dano foliar nas mudas de aroeira, no entanto, o teste de comparações múltiplas (Tukey HSD) aplicado aos valores pelo modelo não foi capaz de separar os tratamentos em grupos estatisticamente distintos, não apresentando diferença estatística sobre os tratamentos (Figura 9).

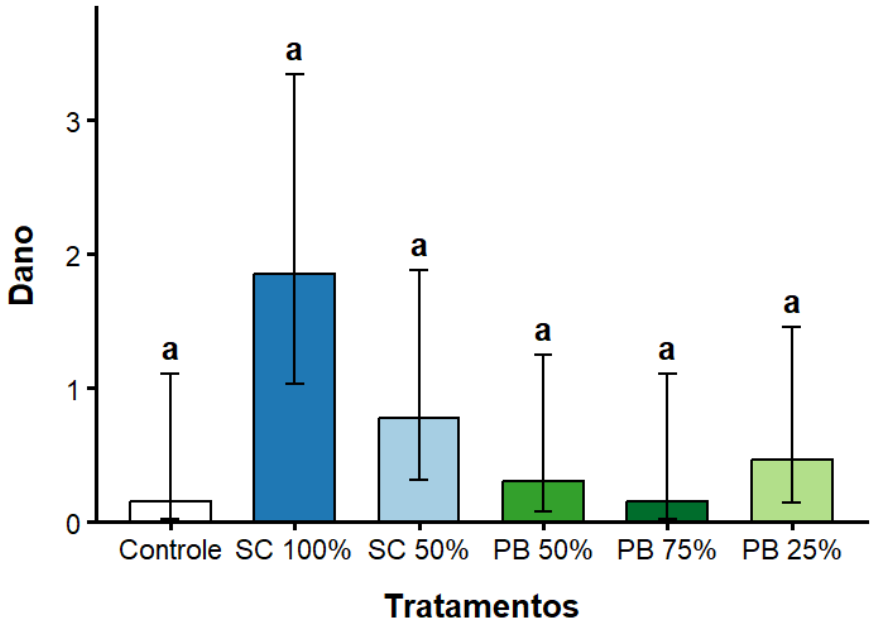


Figura 9. Dano nas folhas da muda de aroeira no período de 60 dias após a semeadura em diferentes substratos. Controle (100% solo); SC (substrato comercial Carolina *soil*); PB (composto pé de boi). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p<0,05$).

Apesar da ausência de separação estatística por Tukey, a tendência observada nos valores médios revela que os tratamentos com substrato comercial (SC 100% e SC 50%) apresentaram maiores médias de dano, enquanto os tratamentos Controle e PB 50% apresentaram os menores valores (próximos a zero). Esta tendência, embora não capturada pelo teste *post-hoc* devido à variabilidade intra-tratamento, sugere que o substrato comercial pode estar associado a uma maior suscetibilidade a danos foliares. Qualitativamente, observou-se que as mudas cultivadas nos tratamentos SC 100% e SC 50% apresentaram maior incidência de manchas foliares e pontuações negras nas folhas (Figura 10). Em contraste, os tratamentos com composto PB (especialmente PB 50% e PB 75%) e o tratamento Controle exibiram menor ocorrência desses sintomas, com folhas visualmente mais saudáveis.

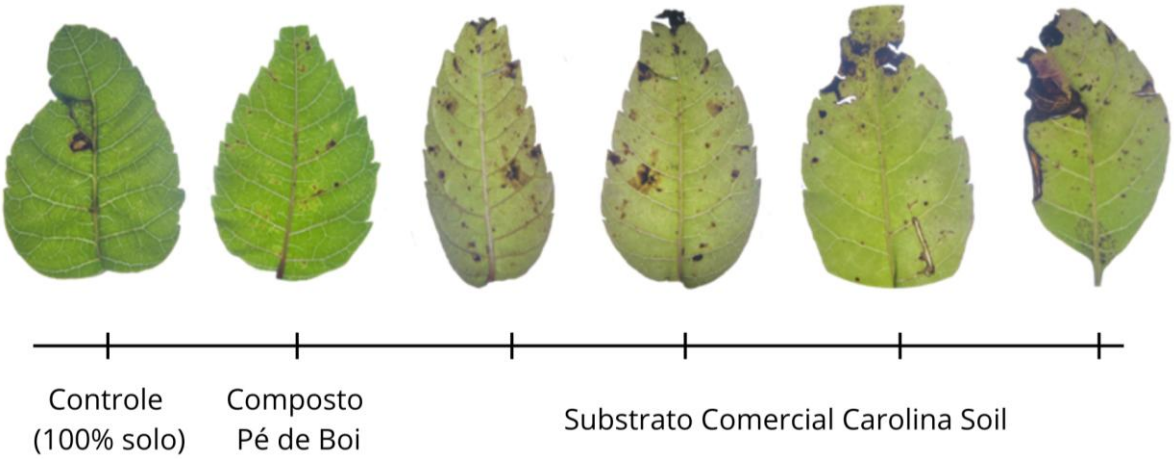


Figura 10. Diagrama visual de dano nas folhas de mudas de aroeira no período de 60 dias após a semeadura.

A partir da figura 10, a maior incidência de danos foliares observada no substrato comercial pode estar associada à dinâmica de nutrientes no substrato. Substratos à base de turfa, componente presente no Carolina *soil*, apresentam capacidade de adsorção de potássio, porém a disponibilidade desse nutriente depende do equilíbrio com a solução do substrato e pode ser influenciada por processos de lixiviação, especialmente sob condições de irrigação frequente (LEAL et al., 2023). Estudos de campo demonstram que a ocorrência de sintomas como clorose e necrose está frequentemente associada a múltiplos fatores, incluindo desequilíbrios nutricionais e estresse ambiental (MARCHESINI et al., 2025). Nesse contexto, a menor disponibilidade de nutrientes, como o potássio, pode contribuir para o desenvolvimento desses sintomas.

Em contraste, o composto orgânico pé de boi proporcionou melhores condições físico-químicas, favorecendo o desenvolvimento das plantas e reduzindo a ocorrência de injúrias foliares. De acordo com Bañón et al. (2022), a matéria orgânica, constituinte básico do composto pé de boi, atua como reservatório de nutrientes, promovendo sua liberação gradual e maior disponibilidade ao longo do tempo. Além disso, condições adequadas de retenção hídrica contribuem para a redução do estresse fisiológico das plantas, relacionando o manejo eficiente da irrigação com melhor desempenho e qualidade vegetal.

Na terceira avaliação, observou-se efeito significativo dos tratamentos sobre todas as variáveis de crescimento (Tabela 7), com exceção a variável dano, indicando que as diferentes proporções de substrato continuaram influenciando o desenvolvimento das mudas aos 90 dias.

Tabela 7. Análise de deviance (Dev.) das variáveis para altura (ALT), diâmetro do coleto (DC), número de folhas (NF), dano (DN) em mudas de aroeira aos 90 dias após a semeadura sob diferentes proporções de substratos.

Fonte de Variação	GL	ALT(Dev.)	DC(Dev.)	NF(Dev.)	DN(Dev.)
Tratamentos	5	$5{,}604^{***}$	$3{,}584^{***}$	$47{,}295^{***}$	$7{,}203^{ns}$
Blocos	5	$0{,}242^{ns}$	$0{,}575^{ns}$	$5{,}899^{ns}$	$1{,}812^{ns}$
Resíduo	25	22,525	20,331	29,508	8,56

Os valores apresentados correspondem à estatística de deviance obtida pelo teste da razão da verossimilhança. *** - significativo a 0,1%; ns – não significativo, pelo teste de qui-quadrado (χ^2). GL - grau de liberdade.

Observou-se que as diferenças estatísticas entre os tratamentos para altura, diâmetro do coleto e número de folhas confirmam a continuidade da influência das proporções de substratos no desenvolvimento das mudas ao longo do tempo. A significância observada para essas

variáveis indica que os efeitos dos tratamentos não apenas se mantiveram, mas também se consolidaram ao final do experimento, evidenciando respostas mais definidas no desenvolvimento das mudas. O desenvolvimento em altura evidencia uma resposta mais tardia das mudas às condições impostas pelos substratos, indicando que o efeito do composto pé de boi ocorreu ao longo do período avaliado, proporcionando crescimento mais lento no início e sendo superior ao final do experimento para todas as variáveis analisadas, exceto o índice de qualidade de Dickson.

Aos 90 dias de avaliação, o tratamento contendo 75% do composto pé de boi apresentou a maior média de altura (25 cm) (Figura 11), sendo superior ao Controle (100% solo) e ao tratamento com 50% do substrato comercial Carolina *Soil*, que apresentaram médias de 9 e 10 cm, respectivamente. Os tratamentos contendo 25% e 50% do composto não diferiram estatisticamente da maior proporção avaliada, evidenciando que a incorporação do composto orgânico favoreceu o crescimento das mudas em relação aos tratamentos com predominância de somente solo ou das proporções do substrato comercial.

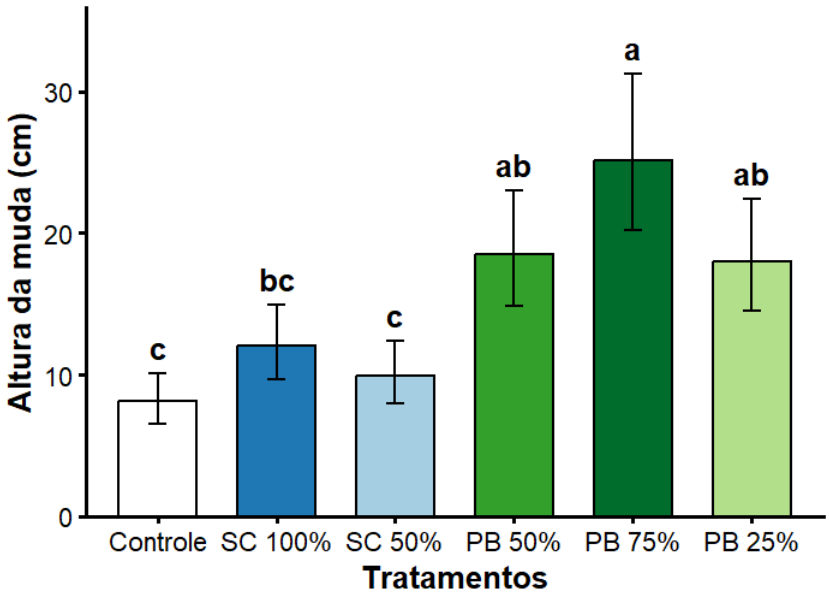


Figura 11. Altura da muda (cm) de aroeira no período de 90 dias após a semeadura em diferentes substratos. Controle (100% solo); SC (substrato comercial Carolina *soil*); PB (composto pé de boi). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p<0,05$).

Similar ao estudo de Paes et al. (2019), que, ao avaliarem diferentes proporções de composto orgânico bovino na produção de mudas de *Astronium urundeuva*, verificaram que a adição do composto na proporção de 60% promoveu incrementos em altura, diâmetro do coleto e número de folhas. Igualmente os resultados obtidos no presente estudo, no qual a maior

proporção do composto pé de boi (75%) proporcionou o maior crescimento em altura aos 90 dias.

Embora o substrato comercial tenha promovido melhor desenvolvimento das mudas nos primeiros 60 dias de cultivo, aos 90 dias o composto orgânico passou a apresentar desempenho superior. Esse desempenho pode estar relacionado à liberação gradual de nutrientes proporcionada pelos compostos orgânicos por garantir um suprimento contínuo de nutrientes durante a fase inicial de crescimento (SMIDERLE et al., 2021a). Destacando-se o aumento da fertilidade, da capacidade de troca catiônica, da retenção de água e da regulação da temperatura no substrato orgânico, fatores esses que favorecem a disponibilidade de nutrientes, o desenvolvimento radicular e o crescimento das mudas (DELARMELINA et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2020). Dessa forma, o uso do composto pé de boi constitui uma alternativa promissora para a produção de mudas de aroeira, por aliar maior disponibilidade nutricional, aproveitamento de materiais locais, redução dos custos de produção e maior sustentabilidade dos sistemas de cultivo.

Para o diâmetro do coleto (Figura 12), a resposta observada também reforça o efeito positivo do composto ao final do período experimental. Os maiores diâmetros observados nos tratamentos PB 25% (2,1 mm), PB 50% (2.2 mm) e PB 75% (2.3 mm), foram superiores ao Controle (100% solo), e intermediárias as proporções do substrato comercial, sugerindo que o composto pé de boi, ao final do experimento, forneceu condições nutricionais suficientes para favorecer o espessamento do caule. Essa variável é importante por expressar maior resistência mecânica, maior acúmulo de biomassa, equilíbrio estrutural entre parte aérea e sistema radicular (SZADY et al., 2026).

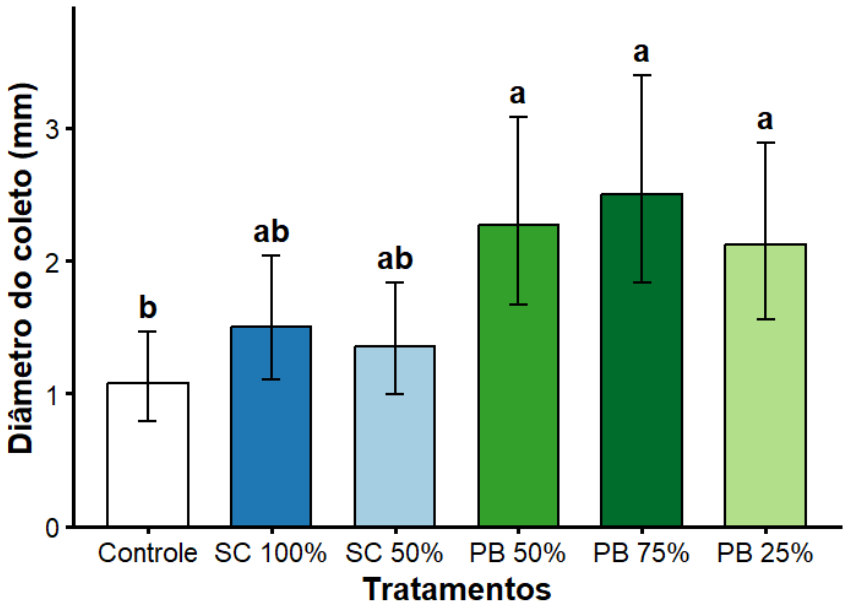


Figura 12. Diâmetro do coleto (mm) de aroeira no período de 90 dias após a semeadura em diferentes substratos. Controle (100% solo); SC (substrato comercial Carolina *soil*); PB (composto pé de boi). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p<0,05$).

O número de folhas seguiu comportamento semelhante ao da altura e do diâmetro (Figura 13), onde a proporção de 75% do composto pé de boi foi superior as proporções do substrato Carolina *soil* (SC100% e SC50%) e ao Controle (100%). As proporções de 50% e 25% provenientes do composto orgânico foram intermediarias, não apresentando diferença estatística entre si, porém superiores ao Controle. Esse resultado está alinhado com o trabalho de Teixeira et al. (2026) onde para mudas de *Ilex paraguariensis*, a superioridade em altura, diâmetro e número de folhas ocorreu de forma conjunta sob condições mais favoráveis de cultivo e a adição do composto orgânico. Esse padrão pode estar relacionado à maior disponibilidade de nutrientes, especialmente aqueles associados ao crescimento vegetativo, uma vez que a emissão foliar depende diretamente da atividade metabólica e da capacidade da planta em sustentar novos tecidos.

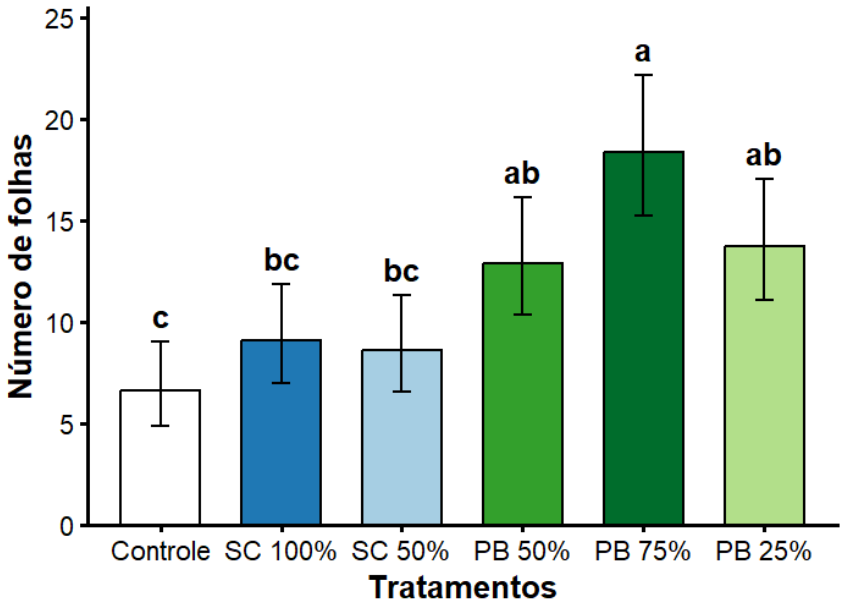


Figura 13. Número de folha de aroeira no período de 90 dias após a semeadura em diferentes substratos. Controle (100% solo); SC (substrato comercial Carolina *soil*); PB (composto pé de boi). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p<0,05$).

Em conjunto, altura, diâmetro do coleto e número de folhas indicam que o desempenho final das mudas foi resultado da interação entre as limitações físicas do substrato e o efeito nutricional progressivo do composto ao longo do tempo. Essa interpretação é reforçada por Guimarães et al. (2024), que, em estudo com espécies florestais amazônicas, destacaram que altura e diâmetro do coleto são bons preditores de atributos de qualidade de mudas, sendo o

diâmetro fortemente relacionado ao índice de qualidade de Dickson e à biomassa radicular. Portanto, os resultados obtidos demonstram que, embora os tratamentos com maiores proporções de composto pé de boi tenham apresentado restrições iniciais associadas ao adensamento desse substrato no tubete, essas limitações foram parcialmente compensadas ao longo do tempo pela maior disponibilidade de nutrientes, resultando em mudas mais vigorosas aos 90 dias.

Por outro lado, a variável dano não apresentou diferença significativa entre os tratamentos, sugerindo que, embora tenha apresentado variação na segunda avaliação (60 dias), ao final do período avaliado não exerceu influência significativa sobre a integridade das plantas, indicando possível recuperação ou adaptação das mudas às condições de cultivo. Espécies do gênero *Astronium*, possuem elevada capacidade de adaptação a condições edáficas adversas, sendo favorecidas em solos pobres de nutrientes, o que pode explicar, em parte, a resiliência observada nas mudas ao final do experimento (SOUZA et al., 2024).

Ao longo do período avaliado, os tratamentos com as maiores concentrações do composto (PB 75% e PB 50%) promoveram maior compactação do substrato, o que pode ter sido em decorrência da sua composição (esterco + pó de rocha). No estudo de Oliveira et al. (2020) que avaliaram o efeito do pó de rocha associado a diferentes substratos orgânicos no desenvolvimento inicial da aroeira, verificou-se que a maior adição de pó de rocha (40%) também promoveu compactação do substrato, o que dificultou os processos de trocas gasosas e absorção de nutrientes, enquanto a menor adição (20%) propiciou o melhor desempenho das mudas.

Chmielewska (2025) demonstra que a adição de 15% de pó de basalto aumentou a densidade seca máxima do solo em aproximadamente 11% e reduziu o coeficiente de permeabilidade em cerca de 73%, demonstrando que as partículas finas do pó preenchem os espaços vazios entre as partículas maiores do solo, resultando em um material mais compacto. Esse efeito ocorre devido à modificação da granulometria do solo, uma vez que as partículas finas do pó de basalto (75% de silte e 15% de argila) ocupam os espaços porosos, aumentando a densidade e dificultando a passagem de água.

É importante considerar que a aroeira é uma espécie que se desenvolve melhor em substratos argilosos (OLIVEIRA et al., 2020). Substratos com maior grau de compactação podem, dentro de certos limites, simular condições edáficas mais firmes, às quais a espécie pode ser tolerante ou até mesmo favorecida, especialmente quando associadas a disponibilidade de nutrientes. Essa tolerância relativa à compactação explica por que os tratamentos PB 75% e

PB 50%, apesar de mais compactados, produziram mudas de melhor qualidade ao longo do tempo.

Após a análise das variáveis de crescimento, observa-se que as variáveis de biomassa (Tabela 8) também foram significativamente influenciadas pelos tratamentos, indicando que os efeitos das diferentes proporções de substrato se estenderam para o acúmulo de matéria nas mudas. Esse comportamento reforça que as condições impostas pelos substratos não apenas afetaram o crescimento, mas também no acúmulo de biomassa, evidenciando diferenças no aproveitamento de recursos ao final do período avaliado.

Tabela 8. Análise de deviance (Dev.) das variáveis para massa seca total (MST), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca radicular (MSR) e índice de qualidade de Dickson (IQD) em mudas de aroeira aos 90 dias após a semeadura sob diferentes proporções de substratos.

Fonte de Variação	GL	MST(Dev.)	MSPA(Dev.)	MSR(Dev.)	IQD(Dev.)
Tratamentos	5	23,377***	31,094***	15,887***	20,549***
Blocos	5	0,714ns	0,460ns	1,015ns	0,187ns
Resíduo	25	19,311	18,132	18,96	19,639

Os valores apresentados correspondem à estatística de deviance obtida pelo teste da razão da verossimilhança. *** - significativo a 0,1% de probabilidade; ns – não significativo, pelo teste de qui-quadrado (χ^2). GL – grau de liberdade.

Para a massa seca da parte aérea (Figura 14), os tratamentos que continham as proporções do composto pé de boi (25%, 50% e 75%) obtiveram as maiores médias 0.9; 1.1 e 1.5g, respectivamente, e foram superiores ao substrato comercial (SC 100% e SC50%) e ao Controle (100% solo), sendo este com a menor média (0.1g).

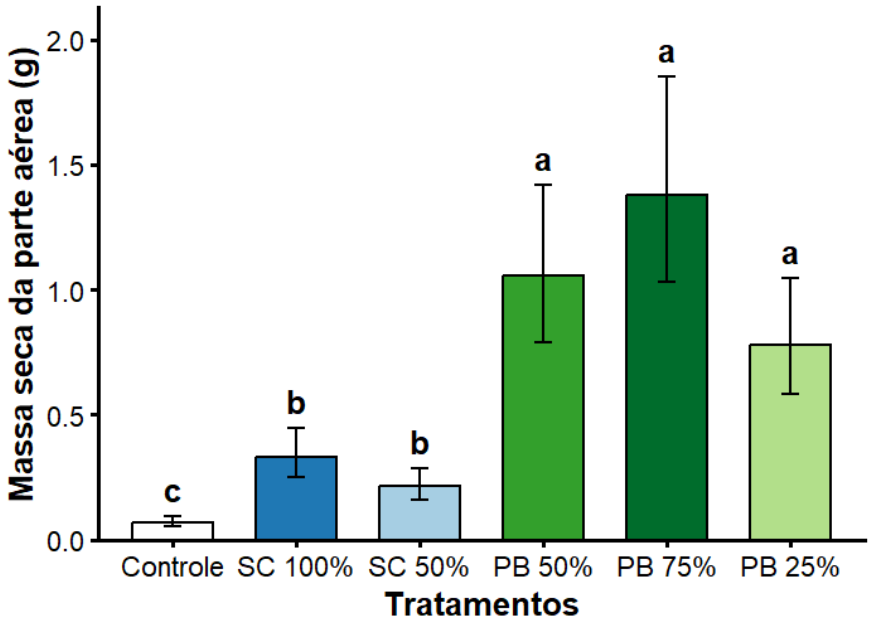


Figura 14. Massa seca da parte aérea (g) de aroeira no período de 90 dias após a semeadura em diferentes substratos. Controle (100% solo); SC (substrato comercial Carolina *soil*); PB (composto pé de boi). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p<0,05$).

O maior acúmulo de massa seca da parte aérea nos tratamentos contendo o composto pé de boi indica que a incorporação da matéria orgânica favoreceu o desenvolvimento das estruturas vegetativas das mudas ao longo do período de cultivo. Essa variável está diretamente relacionada ao maior desenvolvimento foliar e consequentemente, à capacidade fotossintética das mudas, refletindo o balanço entre a assimilação de carbono e o crescimento da parte aérea (VIEIRA et al., 2015). No presente estudo, as maiores proporções do composto pé de boi proporcionaram maior acúmulo de massa seca da parte aérea, indicando que a disponibilidade gradual de nutrientes favoreceu a formação de tecidos vegetais e o crescimento das mudas ao longo dos 90 dias.

Embora o substrato comercial tenha proporcionado bom desempenho durante o desenvolvimento inicial das mudas (30 e 60 dias), seu menor acúmulo de massa seca da parte aérea aos 90 dias indica que esse efeito pode ter sido reduzido ao longo do cultivo. Podendo estar relacionado ao fato de que os substratos comerciais são formulados para favorecer principalmente o estabelecimento inicial das plantas, apresentando adequada estrutura física, elevada porosidade, boa retenção de água e aeração, características que estimulam o crescimento nos estádios iniciais (RODRIGUES et al., 2025). No entanto, à medida que as mudas se desenvolvem, a demanda por nutrientes aumenta, tornando necessária uma fonte nutricional mais contínua.

Nesse contexto, os tratamentos contendo o composto pé de boi provavelmente proporcionaram maior disponibilidade de nutrientes e a possível diminuição da lavagem de nutrientes por meio da lixiviação favorecendo a produção e o acúmulo de biomassa na parte aérea durante os 90 dias de cultivo. Esses resultados sugerem que, embora o substrato comercial seja eficiente para o crescimento inicial, a incorporação de compostos orgânicos pode promover melhor desempenho das mudas em avaliações realizadas em períodos mais prolongados.

Para a massa seca da raiz (Figura 15), a proporção de 50% do composto pé de boi, foi superior ao substrato comercial (SC100% e SC50%) e ao Controle (100% solo). As proporções de 75% e 25% do composto pé de boi foram intermediarias e superiores ao substrato comercial na proporção de 50% e ao Controle.

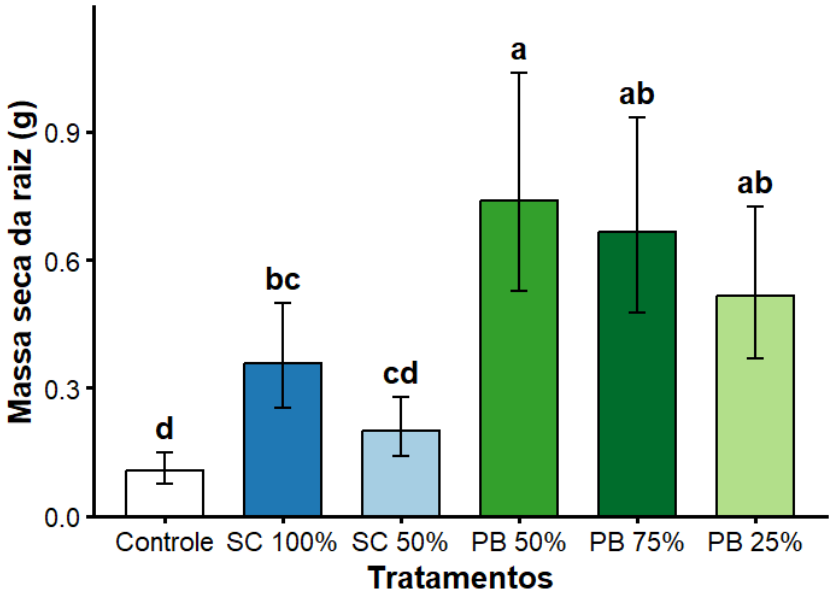


Figura 15. Massa seca da raiz (g) de aroeira no período de 90 dias após a semeadura em diferentes substratos. Controle (100% solo); SC (substrato comercial Carolina *soil*); PB (composto pé de boi). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p<0,05$).

A massa seca da parte radicular é um importante indicador da qualidade de mudas florestais, por estar diretamente relacionada à capacidade de absorção de água e nutrientes, bem como ao potencial de estabelecimento e sobrevivência das plantas após o transplantio (VIEIRA et al., 2022; CABREIRA et al., 2017). Oliveira et al. (2016) e Gallegos-Cedillo et al. (2021) destacam que o maior desenvolvimento do sistema radicular amplia a exploração do substrato, favorecendo a absorção de água e nutrientes, aumentando a capacidade de adaptação das mudas a condições ambientais adversas. Consequentemente, mudas com sistemas radiculares mais desenvolvidos tendem a apresentar maior sobrevivência e melhor desempenho em campo (SILVA et al., 2023).

Em contrapartida, sistemas radiculares pouco desenvolvidos limitam a exploração do solo e podem comprometer o crescimento inicial das plantas. Esse comportamento foi observado no presente estudo, uma vez que os tratamentos contendo o composto pé de boi apresentaram maior massa seca da parte radicular em relação ao substrato comercial e ao Controle, indicando que a incorporação do composto favoreceu o desenvolvimento do sistema radicular e, consequentemente, o potencial de estabelecimento das mudas.

Para a massa seca total (Figura 16), observou-se que os tratamentos com diferentes proporções do composto pé de boi (PB 25%, PB 50% e PB 75%) apresentaram as maiores médias, 1.5; 1.9 e 2.1g, respectivamente, superiores aos tratamentos nas proporções do substrato comercial (SC100% e SC50%) e ao Controle (100% solo).

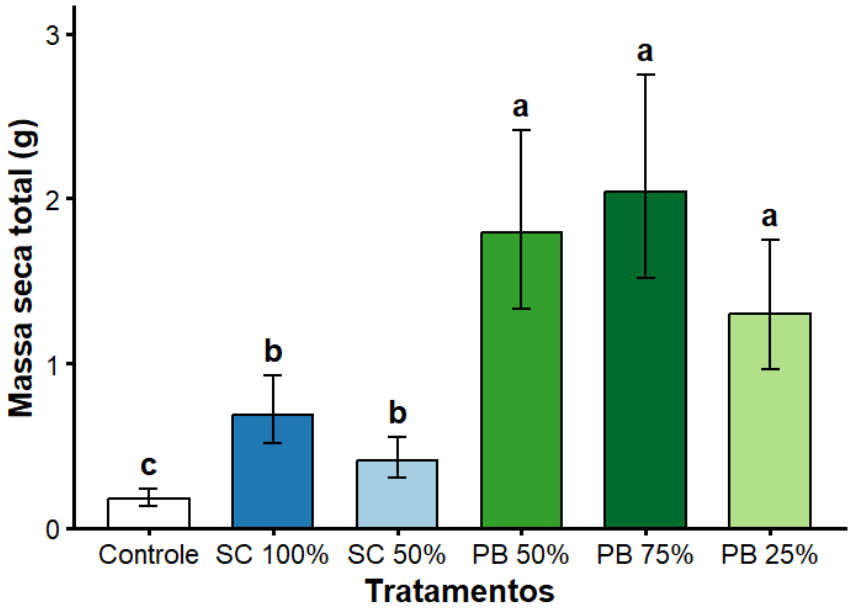


Figura 16. Massa seca total (g) de aroeira no período de 90 dias após a semeadura em diferentes substratos. Controle (100% solo); SC (substrato comercial Carolina *soil*); PB (composto pé de boi). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p<0,05$).

A massa seca total é considerada um dos principais indicadores da qualidade de mudas, pois representa o acúmulo de biomassa produzido durante o desenvolvimento vegetal, refletindo a resposta da planta à eficiência fotossintética, ao aproveitamento dos recursos disponíveis e às condições de cultivo (FERNANDES et al., 2019; STANGHELLINI, OOSFER e HEUVELINK, 2019; GALLEGOS-CEDILLO et al., 2021).

Dessa forma, o maior acúmulo de massa seca observado nos tratamentos contendo o composto pé de boi sugere que a disponibilidade de nutrientes, aliada à melhoria das propriedades físicas e químicas do substrato, favoreceu o crescimento tanto da parte aérea quanto do sistema radicular (TAIZ et al., 2017; PAES et al., 2019). No presente estudo, o maior acúmulo de massa seca total observado nos tratamentos contendo o composto pé de boi sugere que a incorporação da matéria orgânica favoreceu a produção de biomassa ao longo do período avaliado, proporcionando condições mais adequadas para o crescimento das mudas quando comparado ao substrato comercial e ao tratamento controle.

O solo utilizado no tratamento Controle foi classificado como distrófico e de textura argilosa, que naturalmente apresenta baixa fertilidade e maior densidade de partículas de solo, fatores que podem restringir o crescimento radicular e o acúmulo de massa seca nas mudas (SANTOS et al., 2025). A baixa disponibilidade de nutrientes nesse tipo de solo compromete diretamente o desenvolvimento das plantas e o acúmulo de biomassa (Figura 17). Em condições de limitação nutricional, especialmente de fósforo e nitrogênio, ocorre redução da atividade

fotossintética e da produção de compostos essenciais ao metabolismo vegetal, fazendo com que a planta direcione menos carbono para a formação de tecidos, como folhas, caules e raízes, resultando em menor acúmulo de massa seca total (TAIZ et al., 2017).

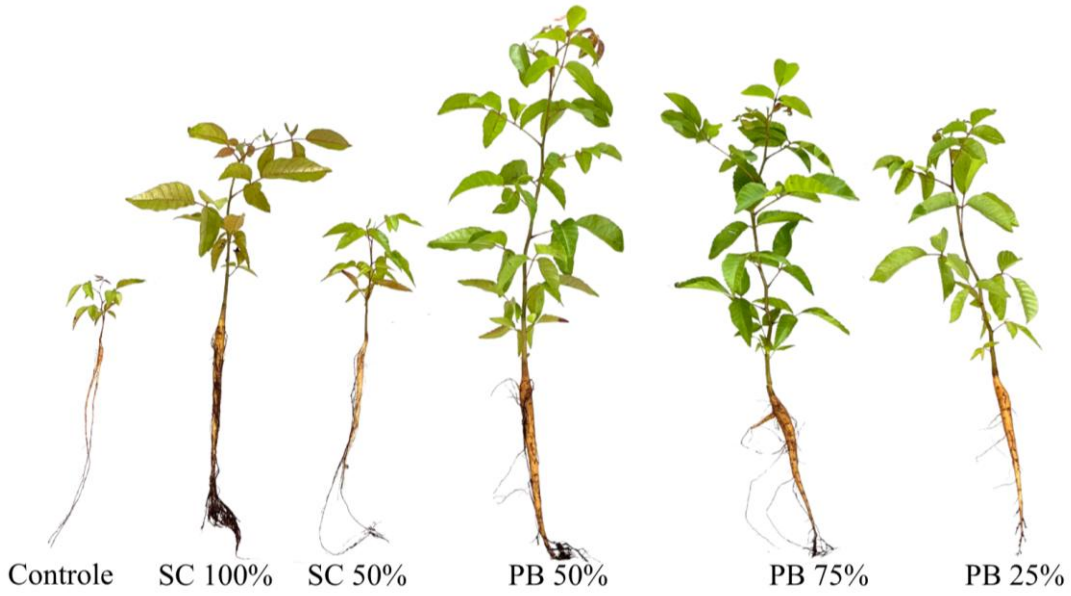


Figura 17. Aspecto visual das mudas de aroeira aos 90 dias após a semeadura sob diferentes proporções de substratos. Controle (100% solo); SC (substrato comercial Carolina *soil*); PB (composto pé de boi).

Para o índice de qualidade de Dickson (Figura 18), observa-se que os tratamentos SC 100%, PB 50%, PB 75% e PB 25% apresentaram as maiores médias, não diferindo estatisticamente entre si e compondo o grupo de maior qualidade de mudas. Por outro lado, os tratamentos Controle e SC 50% apresentaram os menores valores, sendo inferiores aos demais tratamentos.

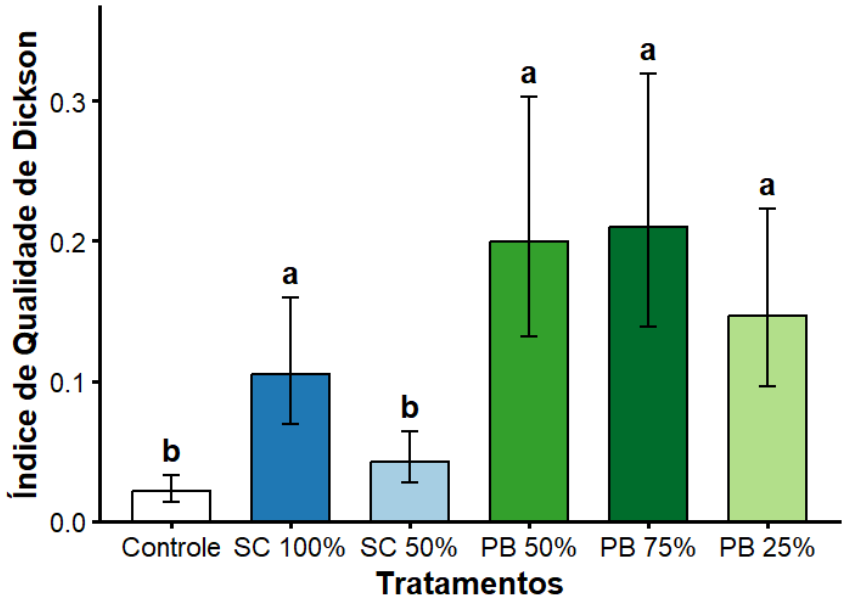


Figura 18. Índice de Qualidade de Dickson. Controle (100% solo); SC (substrato comercial Carolina *soil*); PB (composto pé de boi). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ($p<0,05$).

Segundo Hunt (1990), valores superiores a 0,20 para o Índice de Qualidade de Dickson são considerados adequados para mudas florestais, uma vez que índices mais elevados refletem maior equilíbrio entre o crescimento da parte aérea e do sistema radicular, indicando mudas mais robustas e com maior potencial de desempenho em campo. Para aroeira, Lima et al. (2017), avaliando diferentes resíduos orgânicos, não observaram efeito significativo dos tratamentos sobre o índice de qualidade das mudas. Entretanto, Paes et al. (2019) verificaram que proporções entre 30% e 40% de composto orgânico proporcionaram os maiores valores de IQD para a espécie. No presente estudo, embora os tratamentos SC 100%, PB 25%, PB 50% e PB 75% não tenham diferido estatisticamente entre si, apenas o tratamento PB 75% apresentou valor superior ao mínimo de referência proposto para mudas florestais (0,21).

Os resultados obtidos indicam que a utilização do composto pé de boi influenciou diretamente a qualidade das mudas de aroeira, sendo que tratamentos contendo o composto orgânico promoveram maior equilíbrio morfológico e melhor padrão de desenvolvimento das plantas quando comparados ao tratamento Controle (100% solo). Entretanto, proporções mais elevadas do composto podem ter limitado parcialmente o desempenho das mudas, possivelmente em função do adensamento do substrato no tubete e da redução da aeração, reforçando a importância do equilíbrio entre fertilidade e características físicas do substrato na produção de mudas florestais de qualidade. Dessa forma, proporções moderadas do composto pé de boi pode ser utilizadas como alternativa ao substrato comercial na produção de mudas de espécies florestais, porém, em maiores concentrações tendem a restringir a emergência das plântulas.

CONCLUSÃO

Conclui-se que o composto pé de boi constitui uma alternativa viável ao substrato comercial para a produção de mudas de *Astronium urundeuva*. Embora as formulações contendo 50% e 75% do composto tenham apresentado as maiores médias para as variáveis de crescimento e biomassa, esses tratamentos não diferiram estatisticamente da formulação com 25% do composto. Além disso, as maiores proporções promoveram maior compactação do substrato ao longo do período experimental, reduzindo a emergência das plântulas e retardando o desenvolvimento inicial das mudas. Dessa forma, considerando a uniformidade de emergência e a menor compactação do substrato, recomenda-se a utilização da formulação contendo 25% de composto pé de boi + 75% de solo para a produção de mudas de aroeira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO ALCALÁ, P.; TABOADA GAYTÁN, O. R.; CRUZ HERNÁNDEZ, J. Caracterización de fertilizantes orgánicos y estiércoles para uso como componentes de sustrato. **Acta Agronómica**, v. 69, n. 3, 12 abr. 2021.

ALVES, C. A. J. et al. Níveis de esterco bovino em substratos para produção de mudas de pimenta Malagueta. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v.3, n.2, p. 695-704, 2020.

ALVES, R. O. et al. Produção de adubo orgânico: benefícios para o meio ambiente e agricultura familiar no sertão de Alagoas. **Revista de Agroecologia no Semiárido**, 5, 3, p. 1-8. 2021.

ANDRADE, E. M. G. et al. Cultivo inicial de cajueiro anão precoce com água salina e esterco bovino. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 17, n. 1, p. 10–16, 2022.

ARMAH, A. et al. Integrating Rock Dust and Organic Amendments to Enhance Soil Quality and Microbial Activity for Sustainable Crop Production. **Plants**, v. 14, n. 8, p. 1163-1163, 2025.

BAÑÓN, D. et al. Control of Substrate Water Availability Using Soil Sensors and Effects of Water Deficit on the Morphology and Physiology of Potted Hebe andersonii. **Agronomy**, v. 12, n. 1, p. 206, 2022.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação Agrícola**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2013.

BARTLETT, M. S. **Properties of sufficiency and statistical tests**. In: Kotz, S., Johnson, N.L. (eds) Breakthroughs in Statistics. Springer Series in Statistics, 1992.

BORCIONI, E. et al. Desempenho de substratos comerciais sobre a qualidade de mudas de Pinus taeda L. **Revista Principia**, v. 63, 2026.

BRILHANTE, F. D. F. et al. Produção de mudas de alface em substratos com concentrações crescentes de esterco bovino. **Extensão Rural Em Foco: Apoio À Agricultura Familiar, Empreendedorismo E Inovação-Volume**. v.2, n.1, p. 158-162. 2020.

BRITO, W. R. O.; OLIVEIRA, C. N. M.; C.; MORAES, R. P. Utilização de substrato preparado com compostagem para produção de mudas: uma revisão sistemática de literatura. **Revista JRG de Estudos Acadêmicos**, v. 7, n. 14, p. e141009–e141009, 26 abr. 2024.

CABREIRA, G. V. et al. Biossólido como componente de substrato para produção de mudas florestais. **Floresta**, v. 47, n. 2, p. 165-176, 2017.

CARDOSO, M. R. D. et. al. Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. **Acta Geog**, v. 8, n. 16, p.40-55, 2014.

CARNEIRO, R. S.; VIEIRA, C. R. Produção de mudas de espécies florestais em substrato contendo esterco de aves ou esterco bovino. In: **Ensaios e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**. v. 24, n. 4, p. 386–395, 2020.

CARVALHO, E. S. Aroeira, para que te quero aroeira? experimentações práticas no ensino de ciências dos anos iniciais do ensino fundamental. **Encontro Internacional de Formação de**

Professores e Fórum Permanente de Inovação Educacional, n. 13, 2024. Disponível em: https://eventos.set.edu.br/enfope/article/view/16990. Acesso em: 12 jul. 2026.

CHMIELEWSKA, I. Effect of Basalt Dust Addition on Geotechnical Parameters of Non-Cohesive Soil. **Architecture, Civil Engineering, Environment**, v. 18, n. 3, p. 129–136, 1 set. 2025.

COSTA, J. R. **Técnicas experimentais aplicadas às ciências agrárias**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2003. Disponível em: Infoteca-e. Acesso em: 8 jul. 2026.

CRUZ, F. R. S.; ANDRADE, L. A.; FEITOSA, R. C. Produção de mudas de umbuzeiro (Spondias tuberosa Arruda Câmara) em diferentes substratos e tamanho de recipientes. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 69-80, 2016.

DELARMELINA, W. M. et al. Uso de resíduo orgânico em substrato para produção de *Chamaecrista desvauxii* (Collad.) Killip var. latistipula (Benth.). **Revista Cerne**, v. 21, n. 3, p: 429-437, 2015.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: conceitos, processos e estratégias de recuperação e de prevenção**. Belém, PA: Ed. do Autor, 2023.

DICKSON, A.; LEAF, A. L.; HOSNER, J. F. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v. 36, p. 10-13, 1960.

DOBSON, A. J.; BARNETT, A. G. **An Introduction to Generalized Linear Models**. 4. ed. Chapman & Hall/CRC, 2018.

DONG, M. et al. Resilience of fungal flora in bauxite residues amended with organic matter and vermiculite/fly ash. **Journal of Environmental Management**, v. 284, p. e112052, 2021.

FARIA, J. C. T. et al. Sewage sludge and rice husk as potential substrate to produce *Mimosa setosa* seedlings. **Advances in Forestry Science**, v. 7, n. 3, p. 1111-1119, 2020.

FARIAS, D. T.; MELO, R. R. Propriedades físicas da madeira de cinco espécies nativas da caatinga. **Advances in Forestry Science**, v. 7, n. 3, p. 1147-1152, 2020.

FERNANDES, M. C. O. C. F. et al. Crescimento e qualidade de mudas de *Citharexylum myrianthum* em resposta à fertilização nitrogenada. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v.6, n.1, p.507-513, 2019.

FERREIRA, G. C. V.; MIZIARA, F.; VAZQUÉZ-GONZÁLEZ, I. Intensificação da pecuária em Goiás. **Revista de Economia E Sociologia Rural**, v. 60, n. 4, 2022.

FLORA E FUNGA DO BRASIL. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em:<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB115185>. Acesso em: 07 jul. 2026.

FREITAS, T. A. S. et al. Qualidades de mudas de *Myracrodruon urundeuva* Fr. All. conduzidas sob diferentes volumes de recipientes. **Ciência Florestal**, v. 32, n. 1, p. 19-42, 2022.

FRIZON, L. F. et al. Qualidade de mudas de aroeira do sertão (*Myracrodruon Urundeuva*) sob diferentes substratos orgânicos/Quality of aroeira do sertão (*Myracrodruon Urundeuva*)

seedlings under different organic substrates. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 28137-28151, 2022.

GALLEGOS-CEDILLO, V. M. et al. Plant Agronomic Features Can Predict Quality and Field Performance: A Bibliometric Analysis. **Agronomy**, v. 11, p. 2305, 2021.

GUIMARÃES, Z.; SILVA, D.; FERREIRA, M. Seedling quality and short-term field performance of three Amazonian forest species as affected by site conditions. **iForest - Biogeosciences and Forestry**, v. 17, n. 2, p. 80-89, 2024.

HOTHORN, T.; BRETZ, F.; WESTFALL, P. Simultaneous Inference in General Parametric Models. **Biometrical Journal**, v. 50, n. 3, p. 346-363, 2008.

HUNT, G. A. Effect of styroblock design and copper treatment on morphology of conifer seedlings. In: ROSE, R.; CAMPBELL, S. J.; LANDIS, T. D. (ed.). **Proceedings of the Western Forest Nursery Association.** Fort Collins: USDA Forest Service, p. 218-222, 1990.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2024. Produção agropecuária de soja. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/soja/br>. Acesso em: 08 out. 2025.

KRZYZANOWSKI, F. C. et al. **Testes de vigor baseados em desempenho de plântulas**. Vigor de sementes: conceitos e testes. Tradução. Londrina: Abrates, 2020.

LEAL, B. P. et al. Potassium adsorption on substrates formulated with vermiculite and peat. **Revista Engenharia na Agricultura - REVENG**, v. 31, p. 51-63, 2023.

Lenth R, P. J. (2026). **emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means.** R package version 2.0.3. Disponível em: https://rvlenth.github.io/emmeans/. Acesso em: 12 jul. 2026.

LIMA, L. K. S. et al. Produção de mudas de aroeira do sertão (*Myracrodruon urundeuva Allemão*) em resíduos orgânicos. **Revista Ceres**, v. 64, n. 1, p. 1-11, 2017.

LIMA, M. L. S. et al. Germinação e vigor de sementes de *Caesalpinia ferrea* Mart. ex Tul. var. ferrea submetidas a diferentes regimes de luz e temperaturas. **Ciência Floresta**l, v. 29, n. 3, p. 1180-1186, 2019.

LOAYZA, A. C. V. et al. Evolução dos indicadores da produção de soja no Matopiba. **Observatório de la economía latinoamericana**, v. 21, n. 12, p. 27824-27845, 2023.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. **Crop Science**, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.

MARCHESINI, V. A. et al. Field surveys of chickpea plant damage and association with biotic and abiotic factors in Saskatchewan during 2021–2023. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 105, p. 1-13, 2025.

MATOS, A. A. et al. An extract from *Myracrodruon urundeuva* inhibits matrix mineralization in human osteoblasts. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 237 p. 192-201, 2019.

NELDER, J. A.; WEDDERBURN, R. W. M. Generalized Linear Models. **Journal of the Royal Statistical Society: Series A**, v. 135, n. 3, p. 370-384, 1972.

OLIVEIRA, B. D. et al. Germination and seedling development of *Magonia pubescens* A. St. Hil (Sapindaceae) under different shade levels. **Scientia Forestalis**, v. 44, p. 905-916, 2016.

OLIVEIRA, A. K. M. et al. Effect of basalt rock powder associated with different substrates on the initial development of aroeira seedlings (*Myracrodruon urundeuva*). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 12, p. e5591210790-e5591210790, 2020.

OLIVEIRA, M. F. et al. Emergência de plântulas e desenvolvimento inicial de mudas de aroeira sob diferentes substratos. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 56093-56105, 2020.

OLIVEIRA, A. S. et al. **Florestas**. 2022.

OLIVEIRA, W.; SOUZA, P; ASSUNÇÃO, J. **O Impacto do Crédito do Programa ABC para a Recuperação de Pastagens: Evidências para o Cerrado**. Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative, 2024.

PAES, E. C.; et al. Quality of *Myracrodruon urundeuva* seedlings in different container sizes and organic compost proportion. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 8, p. 1309-1317, 2019.

PAREYN, F. G. C. et al. Myracrodruon urundeuva – Aroeira, p. 766-772. In: Coradin L, Camillo J. e Pareyn F. G. C. (orgs). **Espécies nativas da flora brasileira de valor econômico atual ou potencial – Plantas para o futuro: Região Nordeste**. Brasília/DF. MMA, p. 1311, 2018.

PENG, T. et al. Bacillus velezensis enhances tomato seedling productivity by coordinating functional traits and substrate properties systematically. **Scientia Horticulturae**, v. 339, p. 113905, 2025.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 13. ed. Piracicaba: Nobel/USP-ESALQ, 1990.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024.

RODRIGUES, J. I. M. et al. (2025). Substratos orgânicos e organominerais são os mais utilizados para a produção de mudas florestais amazônicas. **Nativa**, v. 13, n. 2, 178-188, 2025.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 6. ed. Brasília: Embrapa, 2025.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (Complete Samples). **Biometrika**, v. 52, n. 3/4, p. 591-611, 1965.

SILVA, L. L. H. et al. Características energéticas do carvão vegetal de aroeira (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) e leucena (*Leucaena leucocephala* (lam.) R. de Wit). **Ciência Floresta**l, 2018.

SILVA, D. et al. Uso de esterco bovino proporciona melhores mudas de jatobá (*Hymenaea courbaril* L.). **Agrarian Academy**, v. 10, n. 19, 2023.

SILVA, L. F. O. et al. Emergência e desenvolvimento inicial da *ceiba glaziovii* com uso de diferentes substratos. **Cadernos de Agroecologia**, v. 21, n. 1, 2026.

SILVA, J. C. J. et al. Resiliência da flora nativa da caatinga no sertão do pajeú (pe): caracterização botânica, importância ecológica e potencial para a apicultura e meliponicultura sustentáveL. **Aracê**., v. 8, n. 3, p. e12527–e12527, 2026.

SMIDERLE, O. J. **a.** et al. Shading and slow release fertiliser affect early growth in seedlings of Pau marfim. **Floresta e ambiente**, v. 28, n. 1, 2021.

SMIDERLE, O. J. **b**. et al. Parameters of growth and nutrient absorption curve of african mahogany seedlings with and without nutrient solution. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 8, n. 4, p. 83-91, 2018.

SNIFa. Florestas Naturais. 2022. Disponível em: https://snif.florestal.gov.br/pt-br/temas-florestais/recursos-florestais/florestas-naturais?utm_source=. Acesso em: 23 set. 2024.

SNIFb. Conhecendo sobre as florestas. 2022. Disponível em: https://snif.florestal.gov.br/pt-br/component/content/article/235-snif-v1-5/1061-conhecendo-sobre-as-florestas?Itemid=. Acesso em: 23 set. 2024.

SOUZA, C. et al. The Fate of *Astronium urundeuva* Monodominance in Reference Ecosystems Within Riparian Forests of the Rio Doce. **Floresta e Ambiente**, v. 31, n. 4, 2024.

STANGHELLINI, C.; OOSFER, B.; HEUVELINK, E. Greenhouse Horticulture: Technology for Optimal Crop Production. **Wageningen Academic Publishers**: Wageningen, The Netherlands, p. 1–311, 2019.

SZADY, A. J. et al. (2026). Produção de mudas de tomate orgânico cultivar milagros em diferentes tamanhos de células e com utilização de bioinsumos. **Remunom,** v. *13*, n. 13, p. 1-29, 2026.

TAIZ, L. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. Artmed Editora, 2017.

TEIXEIRA, T. et al. Qualidade morfofisiológica de mudas de *Ilex paraguariensis* produzidas em diferentes unidades de produção de mudas. **Floresta**, v. 56, n. 1, p. e96801, 2026.

VIEIRA, C. R.; ARAUJO, M. M. V. Substratos orgânicos e seus efeitos na biomassa, teor de N e características fisiológicas de mudas de *Buchenavia tomentosa*. **Nativa**, v. 12, n. 1, p. 159–165, 2024.

VIEIRA, C. R.; WEBER, O. L. S. Avaliação de substratos na produção de mudas de jatobá. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 2, p: 145-158, 2015.

VIEIRA, C. R. et al. Doses de estercos bovino e equino no crescimento inicial de mudas de ipê-branco. **Revista Ecologia e Nutrição Florestal - ENFLO**, v. 10, p. e03, 2022.

WICKHAM, H. et al. Welcome to the tidyverse. **Journal of Open Source Software**, v. 4, n. 43, p. 1686, 2019.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho demonstrou que tanto as condições de germinação quanto a composição do substrato exercem influência direta sobre a produção de mudas de *Astronium urundeuva*. Os resultados obtidos evidenciam que a definição adequada dessas etapas é fundamental para a obtenção de mudas de maior qualidade, contribuindo para o aprimoramento de produção da espécie.

No processo germinativo, em laboratório, verificou-se que o substrato areia associado à temperatura de 25°C proporcionou as condições mais favoráveis para a condução do teste de germinação, promovendo maior porcentagem de germinação e melhor desenvolvimento inicial das plântulas. Embora a temperatura de 30°C tenha acelerado a velocidade de germinação, essa condição reduziu a germinação final e favoreceu o desenvolvimento de fungos, demonstrando que maior rapidez de emergência nem sempre está associada à melhor qualidade fisiológica das sementes.

Na fase de viveiro, observou-se que o substrato comercial favoreceu o estabelecimento inicial das mudas nos períodos de 30 a 60 dias, enquanto o composto pé de boi apresentou efeito mais significativo aos 90 dias, promovendo maior crescimento, maior acúmulo de biomassa e melhor qualidade das mudas. Apesar de as maiores proporções do composto apresentarem desempenho semelhante para a maioria das variáveis, a formulação contendo 25% do composto orgânico + 75% de solo mostrou-se mais equilibrada por proporcionar desenvolvimento satisfatório das mudas sem comprometer a emergência em decorrência da compactação do substrato.

Os resultados reforçam o potencial do composto pé de boi como alternativa sustentável ao uso de substratos comerciais. Sua utilização pode reduzir os custos de produção, agregar valor ao aproveitamento de resíduos orgânicos, minerais e contribuir para sistemas de produção de mudas florestais.

Em perspectivas futuras, recomenda-se a realização de estudos de campo para avaliar a sobrevivência, o crescimento e o desempenho das mudas produzidas com diferentes proporções do composto pé de boi após o transplantio, bem como investigações sobre ajustes na composição física do substrato que reduzam a compactação, permitindo a utilização de maiores proporções do composto sem comprometer a emergência das plântulas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência tecnologia e produção**. 5. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012.

FARIA, G. T.; FILHO, N. D. Desenvolvimento de mudas de café sob diferentes tipos de substratos. **Revista Agroveterinária do Sul de Minas**, v. 6, n. 3, p. 97-109, 2024.

FRIZON, L. F. et al. Qualidade de mudas de aroeira do sertão (*Myracrodruon Urundeuva*) sob diferentes substratos orgânicos / Quality of aroeira do sertão (*Myracrodruon Urundeuva*) seedlings under different organic substrates. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 4, p. 28137-28151, 2022.

LIMA, L. K. S. et al. Produção de mudas de aroeira-do-sertão (*Myracrodruon urundeuva* Allemão) em resíduos orgânicos. **Ceres,** v. 64, n.1, p. 001-011, 2017.

NASCIMENTO, A. V. S. et al. O que sabemos sobre as sementes de *Astronium urundeuva* (M. Allemão) Engl. (Anacardiaceae)? Revisão sobre uma espécie ameaçada e com importância socioeconômica. **Biodiversidade Brasileira**, v. 12, n. 4, 2022.

OLIVEIRA, M. F. et al. Emergência de plântulas e desenvolvimento inicial de mudas de aroeira sob diferentes substratos / Emergency of seedlings and initial development of aroeira under different substrates. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 56093-56105, 2020.

OLIVEIRA, M. C. et al. **Manual de viveiro e produção de mudas: espécies arbóreas nativas do Cerrado**. Brasília: Rede de Sementes do Cerrado, 2016.

RAZA, S. T. et al. Nutrients recovery during vermicomposting of cow dung, pig manure, and biochar for agricultural sustainability with gases emissions. **Applied Sciences**, v. 10, n. 24, p. 8956, 2020.

RIBEIRO, L. H. O; COELHO, B. E. S.; CANUTO, D. M. F. O. Desempenho de substratos na qualidade de mudas de maracujá azedo (*Passiflora edulis* Sims). **Agri-environmental sciences**, v. 12, n. 2, p. 11, 2026.

SILVA, I. N. B. et al. **Produção de mudas florestais, uma descrição da fava-tamboril.** Editora Cientifica Digital, 2025.

SILVA, L. N. et al. Biometrics and physiological parameters of sour passion fruit seedlings produced on organic substrates. **Australian Journal of Crop Science**, v. 17, n. 2, p. 118-S1, 2023.

SOUZA, E. R. et al. Temperatura na germinação de *Parapiptadenia blanchetii* (Benth.) Vaz & M. P. Lima (FABACEAE). **Científica**, v. 53, n. 1, 2025.

VIEIRA, C. R.; ARAUJO, M. M. V. Substratos orgânicos e seus efeitos na biomassa, teor de n e características fisiológicas de mudas de *Buchenavia tomentosa*. **Nativa**, v. 12, n. 1, p. 159-165, 2024.