

Composto orgânico no substrato de mudas de interesse na restauração florestal da Mata Atlântica

Organic compound in the substrate of seedlings of interest in forest restoration of the Atlantic Forest

Ivan da Costa Ilhéu Fontan¹, Fernanda Marques Castro², Grazielle Wolff de Almeida Carvalho³, Ana Caroline de Oliveira Herculano⁴, Marco Túlio Chagas de Carvalho Gomes⁵

RESUMO: O substrato exerce papel técnico e econômico fundamental na produção de mudas florestais. Este trabalho avaliou o crescimento de mudas em resposta à adição do composto orgânico Provaso® ao substrato. O experimento foi conduzido no viveiro florestal do IFMG–São João Evangelista, em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, duas espécies nativas (*Sesbania virgata* e *Acnistus arborescens*) e cinco proporções do composto (0, 25, 50, 75 e 100%). A semeadura direta foi realizada em tubetes plásticos (180 cm³). Aos 180 dias após a semeadura, foram mensuradas altura total, diâmetro do coletor, relação Ht/Dc, massa seca da parte aérea e de raízes, além de área superficial e volume radicular obtidos por escaneamento. Os dados foram submetidos à análise de variância e teste de Tukey (5%). Também se ajustou função quadrática para estimar a altura em função das doses do composto, calculando-se a altura de máxima eficiência econômica (90% da altura máxima). A adição do composto promoveu maior crescimento de *Sesbania virgata* e *Acnistus arborescens* e as alturas de máxima eficiência econômica para estas espécies foram 54,9 cm e 24,1 cm, obtidas com 35,7% e 33,5% de composto orgânico, respectivamente.

Palavras-chave: Agronegócio; Silvicultura; Sustentabilidade; Viveiros florestais.

ABSTRACT: The substrate plays a fundamental technical and economic role in the production of forest seedlings. This study evaluated seedling growth in response to the addition of the organic compound Provaso® to the substrate. The experiment was conducted at the IFMG–São João Evangelista forest nursery, in a randomized block design, with four replicates, two native species (*Sesbania virgata* and *Acnistus arborescens*) and five proportions of the compound (0, 25, 50, 75, and 100%). Direct seeding was carried out in plastic tubes (180 cm³). At 180 days after sowing, total height, stem diameter, Ht/Dc ratio, shoot and root dry weights, as well as surface area and root volume obtained by scanning, were measured. The data were subjected to analysis of variance and Tukey's test (5%). A quadratic function was also adjusted to estimate height as a function of compost doses, calculating the height of maximum economic efficiency (90% of maximum height). Compost addition promoted greater growth of *Sesbania virgata* and *Acnistus arborescens* and the heights of maximum economic efficiency for these species were 54.9 cm and 24.1 cm, obtained with 35.7% and 33.5% of organic compost, respectively.

Keywords: Agribusiness; Forestry; Forest nurseries; Sustainability.

Autor correspondente: Ivan da Costa Ilhéu Fontan

E-mail: ivan.fontan@ifmg.edu.br

Recebido em: 2025-10-30

Aceito em: 2025-12-12

¹ Doutor em Produção Vegetal pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM). Professor do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), São João Evangelista (MG), Brasil.

² Discente no curso de bacharelado em Engenharia Florestal do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), São João Evangelista (MG), Brasil.

³ Doutora em Ecologia Aplicada pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Professora no Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), São João Evangelista (MG), Brasil.

⁴ Engenheira florestal da Rede de Sementes e Mudas do Rio Doce, Governador Valadares (MG), Brasil.

⁵ Discente no curso de bacharelado em Engenharia Florestal do Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), São João Evangelista (MG), Brasil.

1 INTRODUÇÃO

A exploração dos recursos naturais e a degradação dos ecossistemas no Brasil surgiram ainda no período colonial, com a extração do Pau-brasil. Esse processo se intensificou com a ocupação no interior do país pelos bandeirantes e, mais tarde, com a expansão das fronteiras urbanas e agrícolas. Essas atividades resultaram na substituição de vastas áreas de vegetação nativa, originando o padrão atual de paisagens caracterizadas por fragmentos florestais isolados, especialmente nas regiões pertencentes ao bioma Mata Atlântica (Maioli *et al.*, 2020; Valente *et al.*, 2025).

Como resultado desta degradação, foi criado, ao longo dos anos, um grande passivo ambiental acompanhado da necessidade de restaurar, pelo menos parcialmente, esses ecossistemas naturais. Essa restauração é essencial para enfrentar a atual crise global de perda de biodiversidade e as mudanças climáticas (Bastin *et al.*, 2019; Rodríguez-Uña *et al.*, 2020).

A obrigatoriedade legal da regularização de propriedades rurais por meio dos programas de regularização ambiental (PRAs), instituídos pelo código florestal brasileiro, associado à criação de instrumentos econômicos para incentivar a conservação e a recuperação ambiental, como pagamentos por serviços ambientais e linhas de financiamento específicas, têm gerado uma expectativa de aumento na procura por sementes e mudas de espécies nativas no Brasil (Silva *et al.*, 2015; Dutra-Silva; Overbeck; Müller, 2024).

A produção de mudas florestais de qualidade é influenciada por diversos fatores, dentre os quais se destaca o substrato utilizado visto que apresenta estreita relação com o desenvolvimento e a arquitetura do sistema radicular das plantas, afetando significativamente a sobrevivência e o desenvolvimento destas em condição de campo (Fontan *et al.*, 2020; Grossnickle; Ivetic, 2022).

O substrato deve garantir suporte às mudas, aliando aeração, porosidade, retenção de água, capacidade de troca catiônica, uniformidade, baixa densidade, isenção de substâncias tóxicas, pragas, patógenos e sementes de plantas daninhas, além de ser acessível e economicamente viável aos produtores (Hartmann *et al.*, 2011; Mariotti *et al.*, 2023).

A incorporação de composto orgânico ao substrato é uma prática que melhora propriedades físicas, químicas e biológicas, fornecendo nutrientes, aumentando a retenção de água e favorecendo a aeração. Sob o aspecto econômico, o uso de materiais orgânicos alternativos de maior disponibilidade nas proximidades dos viveiros, ou mesmo de compostos orgânicos comerciais em diferentes proporções na formulação de substratos, pode diminuir os custos de produção de mudas, tornando o processo mais acessível e sustentável (Landis; Wilkinson, 2014; Uesugi *et al.*, 2019; Haase *et al.*, 2021).

Dada a importância técnica e econômica do substrato no processo de produção de mudas e o potencial de melhoria de suas propriedades com a incorporação de matéria orgânica, o presente trabalho teve por objetivo avaliar se a adição de composto orgânico comercial (Provaso®) ao substrato promove maior crescimento em mudas de *Sesbania virgata* (Cav.) Poir. e *Acnistus arborescens* (L.) Schltdl, e qual proporção do composto orgânico otimiza este crescimento.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no viveiro florestal do Instituto Federal de Minas Gerais, *Campus São João Evangelista* (IFMG-SJE), localizado na bacia hidrográfica do Rio Doce (sub-bacia do Suaçuí Grande), região Leste do Estado de Minas Gerais. A altitude média no município é de 690 m e o clima da região é do tipo Cwa (temperado chuvoso-mesotérmico) pela classificação do sistema internacional de Köppen, com verão chuvoso e inverno seco. As médias anuais de temperatura e precipitação em São João Evangelista são de 20,2º C e 1.000 mm, respectivamente (Climate.data.org, 2025).

Foram utilizadas sementes de duas espécies nativas de interesse para programas de restauração na Mata Atlântica, obtidas junto à Rede de Sementes e Mudas do Rio Doce: *Sesbania virgata* (Cav.) Poir (feijãozinho, Fabaceae) e *Acnistus arborescens* (L.) Schltld. (fruto do sabiá, Solanaceae). A escolha considerou sua ampla ocorrência em áreas de regeneração na Bacia do Rio Doce, facilidade de coleta de sementes e importância ecológica. Ambas são espécies de rápido crescimento, características dos estágios iniciais de sucessão, com funções complementares na restauração, sendo que *Sesbania virgata* contribui para a fixação biológica de nitrogênio (Florentino *et al.*, 2009), enquanto *Acnistus arborescens* fornece frutos atrativos para aves e outros frugívoros (Aximoff; Soares; Bernadello, 2020).

O trabalho foi conduzido em local constituído por canteiros suspensos e coberto com tela de sombreamento (malha 50 % de sombra). O experimento foi estabelecido em um Delineamento em Blocos Casualizados (DBC), com 4 repetições, 5 tratamentos, e 4 mudas por unidade experimental (parcela). Os tratamentos representaram diferentes combinações do substrato produzido no próprio viveiro com o composto orgânico comercial Provaso®, ou seja, representaram cinco proporções do composto orgânico, tal como descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Tratamentos experimentais

Tratamento	Substrato Próprio IFMG-SJE (%)	Composto Orgânico Provaso® (%)
T1	100%	0%
T2	75%	25%
T3	50%	50%
T4	25%	75%
T5	0%	100%

O substrato preparado e utilizado no viveiro do IFMG-SJE é composto por uma mistura de terra de subsolo/barranco (LATOSOLO VERMELHO distrófico - LVd), moinha de carvão e esterco bovino curtido, na proporção volumétrica de 3:1:1. Já o produto Provaso® refere-se à um “fertilizante orgânico composto, classe A” contendo bagaço de cana, turfa, rocha calcária, resíduo orgânico agroindustrial classe A estercos e camas de aviário, cinzas e torta vegetal, com as seguintes garantias mínimas: 1% de nitrogênio total (N); 50% de umidade (U); 15% de carbono orgânico (C); pH de 6,0; e relação carbono nitrogênio de 20 (C/N).

Os recipientes utilizados foram tubetes de plástico rígido (prolipropileno) de 180 cm³, devidamente lavados e imersos em uma solução aquosa contendo 1% de hipoclorito de sódio. Em seguida, os tubetes foram preenchidos com as diferentes combinações de

substratos (tratamentos) onde posteriormente foi realizada a semeadura direta de duas sementes por recipiente. Todas as mudas foram submetidas aos mesmos tratos culturais ao longo de 180 dias, que consistiram em realizações de capinas manuais para retirada de plantas espontâneas e irrigações realizadas quatro vezes ao dia por um período de 10 min (micro aspersor 52 L h⁻¹). Nenhuma adubação mineral ou orgânica foi realizada nas mudas durante o experimento.

Aos 180 dias após a semeadura, foram realizadas medições da altura total (Ht, cm) e do diâmetro do coleto (Dc, mm) de todas as mudas do experimento, que permitiu também calcular a relação altura/diâmetro (Ht/Dc). Nesta mesma ocasião, uma planta de cada tratamento e repetição foi utilizada para determinação da massa fresca e seca (após secagem a 65°C em estufa até peso constante) da parte aérea e do sistema radicular. No entanto, antes da secagem da biomassa em estufa, o sistema radicular das mudas foi analisado no escâner de raízes do laboratório de fisiologia vegetal do IFMG-SJE para determinação das variáveis área superficial (ASR, cm²) e volume de raízes (VR, cm³). O equipamento utilizado foi do modelo EPSON STD 4800, que utiliza o software WinRHIZO para captura de imagens. Todas as variáveis foram analisadas estatisticamente por meio de análise de variância (Teste F) e teste de média (Teste Tukey), a 5% de significância.

Como os dados obtidos no presente trabalho refletem o crescimento das plantas em função do aumento proporcional do composto orgânico Provaso® na mistura do substrato, foi possível ajustar um modelo matemático para representar o desenvolvimento das mudas. O modelo ajustado foi o polinomial de segunda ordem (função quadrática), comumente utilizado em experimentos de doses-respostas para determinação de recomendações de adubação em plantas cultivadas. A variável representativa do crescimento das plantas escolhida para o ajuste foi a altura total devido à simplicidade de sua obtenção e facilidade de interpretação.

A partir das equações ajustadas para estimar a altura total das mudas foram determinadas a altura máxima (ponto de inflexão) e a altura de máxima eficiência econômica (que no presente estudo representou 90% da altura no ponto de inflexão), por meio da derivada da função e da determinação das raízes da derivada (fórmula de Bhaskara).

A máxima eficiência econômica é um conceito utilizado na recomendação de doses de nutrientes para plantas cultivadas que se baseia na “Lei dos incrementos decrescentes”, que descreve como o aumento de um insumo em um sistema de cultivo leva a incrementos cada vez menores na produção, que pode se estabilizar ou até diminuir devido a efeitos negativos, como toxicidade ou desequilíbrios nutricionais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 *Sesbania virgata* (Cav.) Poir (FEIJÃOZINHO, FABACEAE)

Aos 180 dias após a semeadura, a altura total de plantas de *Sesbania virgata*, popularmente conhecida como feijãozinho, foi estatisticamente influenciada pelos tratamentos utilizados no experimento, ou seja, as variações na proporção do composto

orgânico adicionado ao substrato proporcionaram crescimento distinto das mudas, conforme observado na Tabela 2.

Tabela 2. Altura total (Ht, cm), diâmetro do coleto (DC, mm), relação Ht / DC, massa seca parte aérea (MSPA, g/planta), massa seca raiz (MSR, g/planta), relação MSPA/MSR, área superficial de raízes (ASR, cm²) e volume de raízes (VR, cm³) em mudas de *Sesbania virgata* submetidas a 5 diferentes formulações de substrato no viveiro do IFMG-SJE

Variáveis	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
Ht (cm) **	40,73 b	48,71 a	51,59 a	53,22 a	55,88 a
Dc (mm) ns	4,13 a	4,54 a	4,61 a	4,68 a	4,63 a
Ht/Dc **	9,89 b	10,72 ab	11,24 ab	11,38 ab	12,10 a
MSPA (g/planta) **	0,95 b	1,77 ab	2,48 a	2,68 a	2,96 a
MSR (g/planta) **	0,32 b	0,56 ab	0,87 a	0,83 a	0,98 a
MSPA/MSR ns	3,01 a	3,18 a	2,89 a	3,19 a	3,02 a
ASR (cm ²) **	70,59 b	101,17 ab	141,97 a	131,78 a	159,14 a
VR (cm ³) **	1,28 b	1,82 ab	2,88 ab	2,93 ab	3,22 a

T1 = 0% CO; T2 = 25% CO; T3 = 50% CO; T4 = 75% CO; T5 = 100% CO; CO = composto orgânico Provaso®. ANOVA (Teste T): ns = não significativo; ** = significativo a 5%; Teste de Tukey (5%): Médias com mesma letra nas linhas não diferem entre si.

A adição do composto orgânico Provaso® (tratamentos T2, T3, T4 e T5) proporcionou nas plantas maior crescimento em altura (Ht) na comparação com o tratamento onde não se adicionou o composto (T1). Quanto maior a proporção do composto orgânico no substrato, maior a altura das mudas, sendo que o T5 (100% CO) promoveu a maior altura média experimental (55,88 cm).

Em relação ao diâmetro do coleto (Dc), apesar das maiores médias estarem associadas aos tratamentos com adição do composto orgânico, estatisticamente estas não se diferiram da média observada no T1, sem o composto. Influenciado pela altura, a relação Ht/Dc também se diferenciou entre os tratamentos, sendo o T1 (sem composto orgânico) estatisticamente inferior ao T5 (100% do composto orgânico).

Comparativamente à outra espécie estudada, *Sesbania virgata* apresentou as maiores alturas e as maiores relações Ht/Dc, condição que pode estar associada ao padrão de crescimento da espécie, que frequentemente forma maciços populacionais dominantes às margens de rios e reservatórios (Souza *et al.*, 2022), levando à um crescimento predominante em altura de seus indivíduos, reflexo da competição pelo recurso luminoso.

Os dados da Tabela 2 demonstram o efeito positivo da adição do composto orgânico Provaso® também sobre o acúmulo de massa seca das mudas de *Sesbania virgata*. O tratamento T1 (0% de composto orgânico) apresentou os menores valores de massa seca da parte aérea (0,95 g/planta) e das raízes (0,32 g/planta). Em contraste, o tratamento T5 (100% de composto orgânico) registrou os maiores valores, com 2,96 g/planta para a parte aérea e 0,98 g/planta para as raízes. Esses resultados destacam a influência benéfica do composto orgânico no crescimento dessa espécie, uma vez que a utilização do produto comercial Provaso® puro como substrato aumentou em 211,58% a massa seca da parte aérea e 206,25% a massa seca de raízes, na comparação com o substrato do viveiro sem a adição do composto.

Segundo Gomes e Paiva (2011), a massa seca da parte aérea é um indicador importante da qualidade e rusticidade das mudas, e quanto maior seu valor, maior o grau de significação dos tecidos e a resistência das mudas às adversidades. Portanto, podemos inferir que o incremento na proporção de composto orgânico no substrato contribuiu significativamente para a formação de mudas mais robustas e adaptáveis.

Utilizando lodo de esgoto como fonte de matéria orgânica na formulação de substratos Delarmelina *et al.* (2014) observaram resultados similares ao do presente estudo, e constataram que maiores proporções deste resíduo favoreceram o crescimento em altura, bem como o acúmulo de massa seca em mudas de *Sesbania virgata*, produzidas em tubetes plásticos.

Sousa *et al.* (2015) relataram que mudas de *Sesbania virgata* são responsivas à adição de resíduos orgânicos ao substrato constituído de amostras de subsolo. Estes autores produziram mudas de melhor qualidade ao adicionar ao substrato composto orgânico produzido por meio de compostagem de resíduos de podas de árvores, esterco bovino e fibra da casca de coco.

Entre as espécies avaliadas, *Sesbania virgata* apresentou a maior relação entre massa seca da parte aérea e massa seca de raízes, indicando uma priorização na alocação de biomassa para a formação da parte aérea. Este comportamento pode estar associado ao hábito de crescimento desta espécie, já relatado (formação de maciços populacionais dominantes em ambientes com elevada umidade no solo), uma vez que plantas que crescem em solos saturados, com baixos níveis de oxigênio, tendem a produzir menor volume de raízes, que via de regra são mais finas, com maior área superficial específica (Zhang *et al.*, 2025).

Mudas florestais com maior relação parte aérea / raiz (menor biomassa radicular relativa) podem apresentar maior dependência do fornecimento de matéria orgânica e nutrientes para sustentar seu crescimento, o que ajuda a explicar a responsividade da espécie *Sesbania virgata* à adição do composto orgânico em mistura no substrato. Um sistema radicular menos desenvolvido explora um volume reduzido de solo ou substrato e pode limitar a absorção de nutrientes, exigindo o aporte adicional de matéria orgânica para compensar essa limitação, aumentar a disponibilidade de nutrientes e favorecer o crescimento das plantas (Gomes; Paiva, 2011; Larney; Angers, 2012).

As análises realizadas com o auxílio do escaner de raízes também indicaram um maior desenvolvimento do sistema radicular nas plantas cultivadas nos substratos enriquecidos com o composto orgânico, conforme apresentado na Tabela 2 e Figura 1. As plantas do tratamento com 100% do substrato comercial Provaso® (T5) apresentaram a maior área superficial ($159,14 \text{ cm}^2$) e o maior volume de raízes ($3,22 \text{ cm}^3$), valores estes mais de 2 vezes superiores àqueles observados para as plantas do T1, onde utilizou-se apenas o substrato do viveiro. Assim, a utilização do composto orgânico promoveu maior crescimento radicular, o que justifica também o maior crescimento da parte aérea, expresso pela altura total das plantas e pela massa seca acumulada na parte aérea das plantas estudadas.

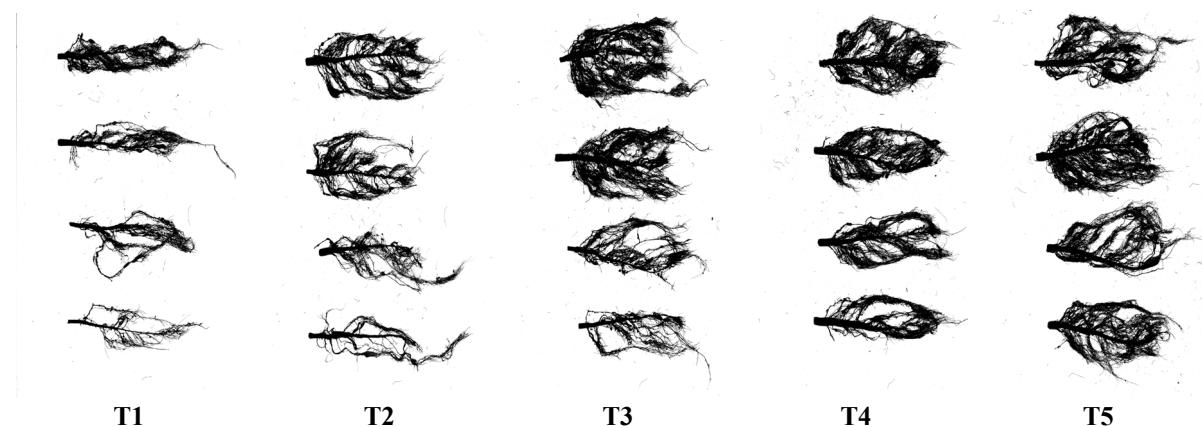


Figura 1. Sistema radicular de mudas de *Sesbania virgata* em tubetes plásticos (180 cm^3) submetidas a 5 diferentes formulações de substrato no viveiro do IFMG-SJE.

Como houve diferença significativa no crescimento das mudas em função dos tratamentos, foi possível ajustar o modelo quadrático para a altura total das mudas de *Sesbania virgata* em função da proporção do composto orgânico no substrato, conforme apresentado a seguir (Figura 2).

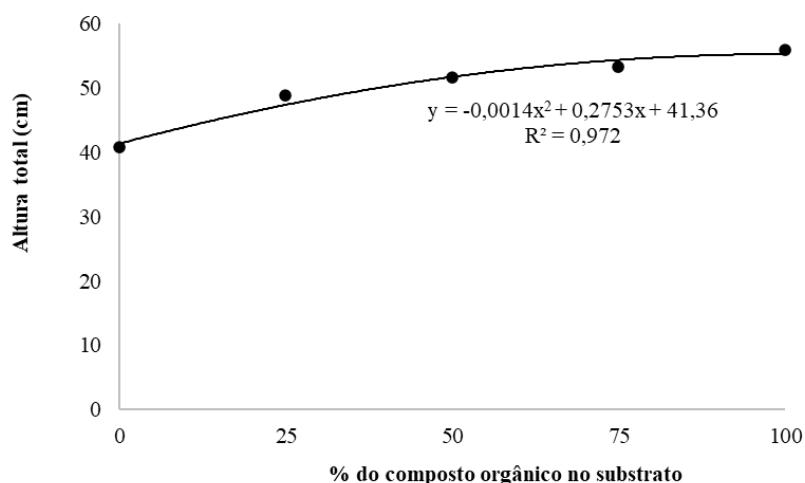


Figura 2. Ajuste do modelo quadrático para os dados observados de altura total de mudas de *Sesbania virgata* em função do percentual do composto orgânico Provaso®

Após derivar o modelo, foi obtido o ponto de inflexão em que a altura máxima de 54,9 cm foi obtida com 98,3% do composto orgânico na mistura do substrato. No entanto, se utilizarmos o conceito de produtividade e dose econômica, amplamente usado em análises de produtividade e nutrição de culturas agrícolas e florestais, teremos que a utilização de 35,7 % do composto orgânico no substrato seriam suficientes para proporcionar uma altura média de 49,4 cm nas mudas de *Sesbania virgata*, considerada adequada para expedição à campo.

3.2 *Acnistus arborescens* (L.) Schltdl. (FRUTO DO SABIÁ, SOLANACEAE)

O crescimento das mudas de *Acnistus arborescens* foi significativamente influenciado pelos tratamentos experimentais, uma vez que a adição do composto

orgânico Provaso® proporcionou às mudas maior altura total (Ht) e maior diâmetro do coletor (Dc), quando comparadas às plantas do tratamento que utilizou somente o substrato do viveiro do IFMG-SJE (sem adição do composto orgânico). Em geral, quanto maior a proporção do composto orgânico na mistura do substrato, maior a altura e o diâmetro das mudas. Já a relação Ht/Dc não foi influenciada significativamente pelo aumento na concentração de matéria orgânica (Tabela 3).

Tabela 3. Altura total (Ht, cm), diâmetro do coletor (DC, mm), relação Ht / DC, massa seca parte aérea (MSPA, g/planta), massa seca raiz (MSR, g/planta), relação MSPA/MSR, área superficial de raízes (ASR, cm²) e volume de raízes (VR, cm³) em mudas de *Acnistus arborescens* submetidas a 5 diferentes formulações de substrato no viveiro do IFMG-SJE

Variáveis	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
Ht (cm) **	18,79 b	22,65 ab	26,63 a	26,44 a	26,91 a
Dc (mm) **	4,91 c	6,42 b	6,57 b	7,50 a	7,59 a
Ht/Dc ns	3,85 a	3,53 a	4,07 a	3,54 a	3,55 a
MSPA (g/planta) **	0,57 c	1,03 b	1,53 a	1,47 a	1,57 a
MSR (g/planta) **	0,42 c	0,74 b	0,89 ab	1,13 a	0,98 ab
MSPA/MSR ns	1,39 a	1,40 a	1,73 a	1,31 a	1,62 a
ASR (cm ²) **	119,84 b	179,44 a	174,15 a	185,20 a	169,24 a
VR (cm ³) **	1,69 b	2,89 a	3,57 a	3,74 a	3,70 a

T1 = 0% CO; T2 = 25% CO; T3 = 50% CO; T4 = 75% CO; T5 = 100% CO; CO = composto orgânico Provaso®. ANOVA (Teste T): ns = não significativo; ** = significativo a 5%; Teste de Tukey (5%): Médias com mesma letra nas linhas não diferem entre si.

Na literatura científica existem trabalhos dedicados ao entendimento de processos germinativos de sementes de *Acnistus arborescens* (Brito *et al.*, 2014, Brito; Bezerra; Pereira, 2016), porém, são escassas as investigações científicas relacionadas ao efeito dos substratos e aspectos nutricionais sobre o crescimento de mudas.

Todavia, diversas pesquisas evidenciam o efeito de adubações orgânicas sobre o crescimento de outras espécies florestais. Oliveira; Lima; Lima (2014) verificaram que a incorporação de esterco ao substrato na proporção de 25 a 50% melhora o crescimento e a qualidade de mudas de *Cedrela fissilis* Vell. A espécie nativa *Solanum lycocarpum* (lobeira) pertencente à mesma família botânica do fruto-do-sabiá (Solanaceae) respondeu à aplicação da adubação orgânica e mineral em experimento realizado por Amaral *et al.* (2018), onde as plantas foram cultivadas utilizando como substrato rejeito da mineração de quartzito.

Formulações de substrato contendo 20 a 35% de casca de arroz carbonizada, combinada com fibra de coco e esterco bovino potencializaram o crescimento e a qualidade de mudas de *Peltophorum dubium* (Spreng.), de acordo com estudo desenvolvido por Silva *et al.* (2021). Griebeler *et al.* (2023) verificaram que o uso de esterco bovino melhorou as propriedades físico-químicas dos substratos e proporcionou melhor desenvolvimento de mudas de *Citharexylum montevidense* (Spreng.) Moldenke.

A análise da massa seca das plantas também evidenciou um efeito significativo na adição do composto orgânico sobre o crescimento das plantas de *Acnistus arborescens*. Os resultados apresentados na Tabela 3 demonstram que nos tratamentos onde houve a incorporação do composto Provaso® (T2, T3, T4 e T5) a massa seca da

parte aérea e a massa seca de raízes foram estatisticamente superiores às observadas no tratamento onde o composto não foi usado (T1). Já a relação MSPA/MSR não foi influenciada estatisticamente pelos tratamentos experimentais (Tabela 3).

Os resultados das análises de variância e testes de média realizados para as variáveis que expressam o desenvolvimento radicular, a partir da análise realizada em escaner confirmaram que a utilização do composto orgânico em mistura no substrato promoveu melhorias no crescimento das plantas. Conforme apresentado na Tabela 3, a área superficial radicular, que reflete a extensão das raízes em contato com o substrato, foi significativamente maior nos tratamentos T2 ($179,44 \text{ cm}^2$), T3 ($174,15 \text{ cm}^2$), T4, ($185,20 \text{ cm}^2$) e T5 ($169,24 \text{ cm}^2$), que receberam a adição do composto orgânico. Esses tratamentos não diferiram estatisticamente entre si, porém foram superiores ao T1, onde a área superficial radicular foi de $119,84 \text{ cm}^2$.

Tal como descrito para a área superficial, o volume radicular, que mede a massa tridimensional das raízes, foi significativamente superior nos tratamentos onde o substrato foi enriquecido com o composto orgânico, na comparação com o tratamento que usou somente o substrato produzido no próprio viveiro do IFMG-SJE.

Desta forma, os resultados indicam que as potenciais melhorias físicas, químicas e biológicas proporcionados pela incorporação de matéria orgânica no substrato de produção de mudas de *Acnistus arborescens* estimulam a formação de raízes (Figura 3) e consequentemente o crescimento das plantas.

Segundo Carvalho; Costa; Duarte (2001), *Acnistus arborescens* ocorre preferencialmente em florestas ombrófilas densas e matas de galeria em florestas estacionais semideciduais, ambientes caracterizados por solos ricos em matéria orgânica e nutrientes, resultantes da elevada umidade e intensa atividade biológica. Essa adaptação às condições de boa fertilidade e umidade ajuda a explicar o efeito positivo da adição de composto orgânico no substrato sobre o crescimento das mudas observado, neste estudo.

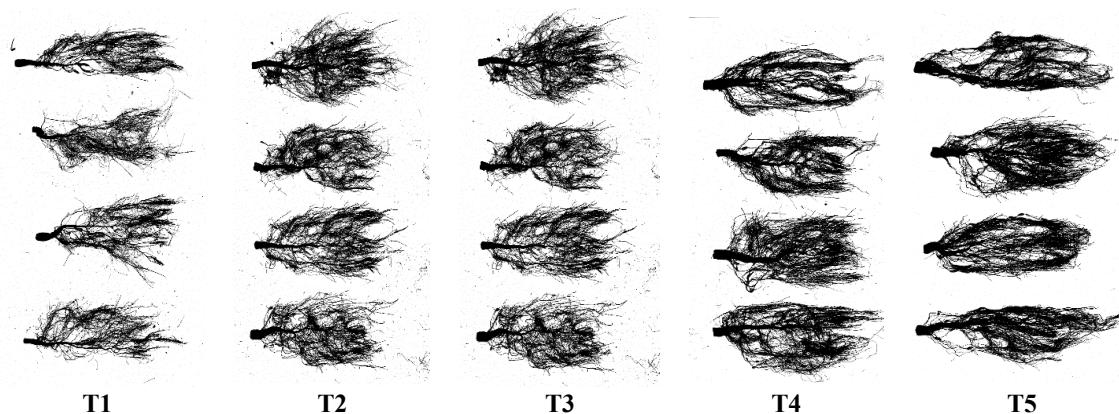


Figura 3. Sistema radicular de mudas de *Acnistus arborescens* em tubetes plásticos (180 cm^3) submetidas a 5 diferentes formulações de substrato no viveiro do IFMG-SJE

Para a espécie *Acnistus arborescens* também foi observada diferença significativa no crescimento das mudas em função dos tratamentos, o que possibilitou o ajuste de um modelo matemático para representar a altura total das mudas em função da proporção do composto orgânico no substrato, conforme apresentado a seguir (Figura 4).

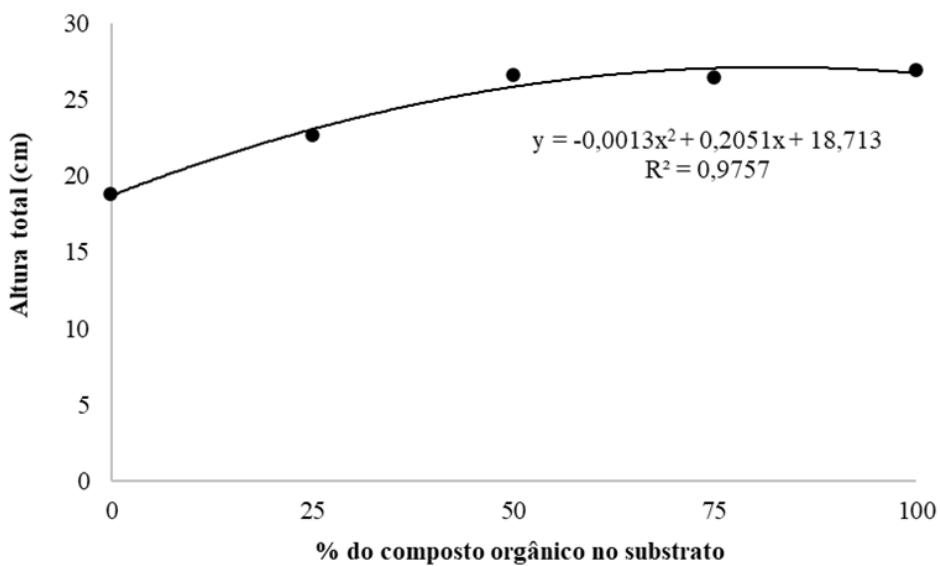


Figura 4. Ajuste do modelo quadrático para os dados observados de altura total de mudas de *Acnistus arborescens* em função do percentual do composto orgânico Provaso®

A altura máxima e o percentual do composto orgânico para alcançá-la foram de 26,8 cm e 78,9%, respectivamente, que representam o ponto de inflexão da curva obtido pela derivada da função quadrática. Porém, adotando o conceito de produtividade e dose econômica, calcula-se que a utilização de 33,5 % do composto orgânico no substrato seja suficiente para proporcionar uma altura média de 24,1 cm nas mudas de *Acnistus arborescens*, sendo esta considerada adequada para expedição das mudas e plantio em campo.

4 CONCLUSÃO

A adição do composto orgânico Provaso® no substrato promoveu maior crescimento das mudas de *Sesbania virgata* e de *Acnistus arborescens*.

A altura de máxima eficiência econômica foi de 54,9 cm para *Sesbania virgata* e 24,1 cm para *Acnistus arborescens*, obtidas respectivamente com a adição de 35,7% e 33,5% do composto orgânico na mistura do substrato.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal de Minas Gerais, Campus São João Evangelista e à Rede de Sementes e Mudas do Rio Doce por possibilitar a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, C. S.; SILVA, E. B.; PEREIRA, I. M; AMARAL, W. G.; MACHADO, V. M. Crescimento de *Solanum lycocarpum* st.-Hil. em função da adubação mineral e orgânica em rejeito da mineração de quartzito. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 28, n. 4, p. 1534-1545, out.- dez., 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/1980509835101>.
- AXIMOFF, I. A.; SOARES, H. M.; BERNADELLO, G. *Acnistus arborescens* (Solanaceae): an important food resource for birds in an Atlantic Forest site, Southeastern Brazil. **Rodriguésia** 71: e02232018, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-7860202071030>.
- BASTIN, J. F; FINEGOLD, Y.; GARCIA, C.; MOLLICONE, D.; REZENDE, M.; ROUTH, D.; ZOHNER, C. M.; CROWTHER, T. W. The global tree restoration potential. **Science**, 365(6448), 76-79, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aax0848>.
- BRITO, S. F.; SOUSA, J. E. S.; SILVA, J. A.; BEZERRA, A. M. E. Morfometria de frutos e sementes e desenvolvimento pós-seminal de *Acnistus arborescens*. **Revista de Ciências Agrárias/ Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v.57, n.4, p.422-428, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.1418>.
- BRITO, S. F., BEZERRA, A. M. E., PEREIRA, D. S. Efeito da Temperatura e do KNO₃ na Germinação de *Acnistus arborescens* (Solanaceae). **Floresta e Ambiente**, 23(3), p.406-412, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.102714>.
- CARVALHO, L. A. F; COSTA, L. H. P.; DUARTE, A. C. Diversidade taxonômica e distribuição geográfica das solanáceas que ocorrem no Sudeste Brasileiro (*Acnistus*, *Athenaea*, *Aureliana*, *Brunfelsia* e *Cyphomandra*). **Rodriguésia**, v. 52, n. 80, p. 31-45, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/2175-78602001528003>.
- CLIMATE-DATA.ORG. **Clima: São João Evangelista/MG**. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/minas-gerais/sao-joao-evangelista-175926/>. Acesso: 08 jul.2025.
- DELARMELINA, W. M.; CALDEIRA, M. V. W.; FARIA, J. C. T.; GONÇALVES, E. O.; ROCHA, R. L. F. Diferentes substratos para a produção de mudas de *Sesbania virgata*. **Floresta e Ambiente**, 21(2):224-233, abr./jun, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/floram.2014.027>.
- DUTRA-SILVA, R.; OVERBECK, G. E.; MÜLLER, S. C. How can Brazilian legislation on native seeds advance based on good practices of restoration in other countries? **Perspectives in Ecology and Conservation**, v.22, n.3, p. 224-231, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2024.08.002>.
- FLORENTINO, L. A.; GUIMARÃES, A. P.; RUFINI, M.; SILVA, K.; MOREIRA, F. M. S. *Sesbania virgata* stimulates the occurrence of its microsymbiont in soils but does not inhibit

microsymbionts of other species. **Scientia Agricola** (Piracicaba, Braz.), v.66, n.5, p.667-676, September/October, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-90162009000500012>.

FONTAN, I. C. I.; CORDEIRO, M. J. M.; FONSECA, N. R.; LAFETÁ, B. O. Uso de casca de eucalipto e moinha de carvão na composição de substratos de mudas de *Eucalyptus urophylla*. In: SILVA-MATOS, R.R.S.; OLIVEIRA, A.R.F.; CORDEIRO, K.V. (Org.). **Desafios e sustentabilidade no manejo de plantas 2**. Ponta Grossa, PR: Atenas, 2020. Cap. 5, p. 50-59.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. **Viveiros florestais**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2011. 116 p. (Série Didática).

GRIEBELER, A. M., ARAUJO, M. M., TURCHETTO, F., BERGHETTI, Á. L. P., RORATO, D. G., FERMINO, M. H., AIMI, S. C., COSTELLA, C. Organic waste and controlled-release fertilizer maximize the growth of *Citharexylum montevidense* in nursery and in the field. **CERNE**, 29: e-103003, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1590/01047760202329013003>.

GROSSNICKLE, S. e IVETIC, V. Root system development and field establishment: effect of seedling quality. **New Forests**, 53, 1021–1067, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-022-09916-y>.

HAASE, D. L.; BOUZZA, K.; EMERTON, L.; FRIDAY, J. B.; LIEBERG, B.; ALDRETE, A.; DAVIS, A.S. The High Cost of the Low-Cost Polybag System: A Review of Nursery Seedling Production Systems. **Land**, 10(8), 826, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/land10080826>.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES, F. T. Jr; GENEVE, R. L. **Plant propagation: principles and practices**. 8th. ed. Boston: Prentice-Hall, p. 915, 2011.

LANDIS T.D.; WILKINSON, K.M. Defining the target plant. In: WILKINSON, K.M.; LANDIS, T.D.; HAASE, D.L.; DALEY, B.F.; DUMROESE, R.K. (ed.). **Tropical Nursery Manual: A Guide to Starting and Operating a Nursery for Native and Traditional Plants**; Agriculture Handbook 732; U.S. Department of Agriculture, Forest Service: Washington, DC, USA; p.44-65, 2014.

LARNEY, F. J.; ANGERS, D. A. The role of organic amendments in soil reclamation: A review. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 92, n. 1, p. 19-38, 2012. DOI: <https://cdnsciencepub.com/doi/abs/10.4141/cjss2010-064>.

MAIOLI, V.; BELHARTE, S.; STUKER KROPF, M.; CALLADO, C. H. Timber Exploitation in Colonial Brazil: A Historical Perspective of the Atlantic Forest. **Historia Ambiental Latinoamericana y Caribeña (HALAC) revista de la Solcha, [S. l.]**, v. 10, n. 2, p. 46-73, 2020. DOI: <https://doi.org/10.32991/2237-2717.2020v10i2.p74-101>.

MARIOTTI, B., OLIET, J. A., ANDIVIA, E.; TSAKALDIMI, M.; VILLAR-SALVADOR, P.; IVETIĆ, V.; MONTAGNOLI, A; JANKOVIĆ, I, K.; BILIR, N.; BOHLENIUS, H.; CVJETKOVIĆ, B.; DŪMIŅŠ, K.; HEISKANEN, J.; HINKOV, G.; FLØISTAD, I. S; COCOZZA,

C. A Global Review on Innovative, Sustainable, and Effective Materials Composing Growing Media for Forest Seedling Production. **Current Forestry Reports**, 9, 413–428, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40725-023-00204-2>

OLIVEIRA, L. R.; LIMA, S. F.; LIMA, A. P. L. Crescimento de mudas de cedro-rosa em diferentes substratos. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 79, p. 187-195, 195, jul/set. 2014. DOI: <https://doi.org/10.4336/2014.pfb.34.79.605>.

RODRÍGUEZ-UÑA, A.; CRUZ-ALONSO, V.; ROHRER, Z.; MARTÍNEZ-BAROJA, L. Fresh perspectives for classic forest restoration challenges. **Restoration Ecology**, v. 28, n. 1, p. 12-15, jan, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1111/rec.13093>.

SILVA, A. P. M.; MARQUES, H. R.; SANTOS, T. V. M. N.; TEIXEIRA, A. M. C.; LUCIANO, M. S. F.; SAMBUICHI, R. H. R. **Diagnóstico da produção de mudas florestais nativas no Brasil**: Relatório de Pesquisa. Brasília: IPEA, 2015.

SILVA, O. M. C.; HERNANDEZ, M. M.; ALMEIDA, R. S.; MOREIRA, R. P.; LELES, P. S. S.; MELO, L. A. Seedlings of tree species produced insubstrates based on organic composts. **Floresta**, Curitiba, PR, v. 51, n. 2, p. 371-380, abril/jun, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5380/rf.v51i2.69047>.

SOUZA, V. C., ANDRADE, L. A., BEZERRA, F. T. C., FABRICANTE, J. R., FEITOSA, R. C. Avaliação populacional de *Sesbania virgata* (Cav.) Pers. (Fabaceae Lindl.), nas margens do rio Paraíba. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias** 6(2): 314-32, 2022. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v6i2a926>.

SOUSA, L. B.; NÓBREGA, R. S. A.; LUSTOSA FILHO, J. F.; AMORIM, S. P. N.; FEREIRA, L. V. M.; NÓBREGA, J. C. A. *Sesbania virgata* (Cav. Pers) cultivation in different substrates. **Revista de Ciências Agrárias/ Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v.58, n.3, p.240-247, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.4322/rca.1942>.

UESUGI, G.; SIMÕES, D.; MORAES, C. B.; SILVA, M. R. Economic and Financial Analysis of Tree Seedling Production Using Composted Biosolids Substrate. **Floresta e Ambiente**, 26(2): e20170740, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/2179-8087.074017>.

VALENTE, C.; HOLLUNDER, R.; MOURA, C.; SIQUEIRA, G.; DIAS, H.; DA SILVA, G. Assessing forest succession along environment, trait, and composition gradients in the Brazilian Atlantic Forest. **Forests**, 16(7):1169, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/f16071169>.

ZHANG, Y.; CHEN, X.; GENG, S., ZHANG, X. A review of soil waterlogging impacts, mechanisms, and adaptive strategies. **Frontiers in Plant Science**, v.16, 2025. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1545912>.