

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS – *CAMPUS* SÃO JOÃO EVANGELISTA
BACHARELADO EM ENGENHARIA FLORESTAL

Irlaine Nathaly Ferreira dos Anjos

**EFEITO DA APLICAÇÃO FOLIAR DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DO
BIOESTIMULANTE *STIMULATE*® SOBRE A PROPAGAÇÃO CLONAL DE
HÍBRIDOS COMERCIAIS DE *EUCALYPTUS* E *CORYMBIA***

São João Evangelista

2026

IRLAINE NÁTHALY FERREIRA DOS ANJOS

**EFEITO DA APLICAÇÃO FOLIAR DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DO
BIOESTIMULANTE *STIMULATE*® SOBRE A PROPAGAÇÃO CLONAL DE
HÍBRIDOS COMERCIAIS DE *EUCALYPTUS* E *CORYMBIA***

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Instituto Federal de Minas Gerais - Campus São
João Evangelista como exigência parcial para
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Florestal.

Orientador: Dr. João Paulo Lemos

São João Evangelista

2026

A599e Anjos, Irlaine Nathaly Ferreira dos.

Efeito da aplicação foliar de diferentes concentrações do bioestimulante *Stimulate*® sobre a propagação clonal de híbridos comerciais de *Eucalyptus* e *Corymbia*
/ Irlaine Nathaly Ferreira dos Anjos– 2026.
20f.: il.

Orientador: Dr. João Paulo Lemos.

Trabalho de Conclusão de Curso (bacharelado em Engenharia Florestal) – Instituto Federal Minas Gerais. *Campus* São João Evangelista, 2026.

1. Propagação clonal. 2. Miniestaquia. 3. Bioestimulante. 4. Enraizamento. 5. *Eucalyptus*. I. Anjos, Irlaine Nathaly Ferreira dos. II. Instituto Federal de Minas Gerais *Campus* SJE. III. Título.

Irlaine Nathaly Ferreira dos Anjos

**EFEITO DA APLICAÇÃO FOLIAR DE DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DO
BIOESTIMULANTE *STIMULATE*® SOBRE A PROPAGAÇÃO CLONAL DE
HÍBRIDOS COMERCIAIS DE *EUCALYPTUS* E *CORYMBIA***

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Instituto Federal de Minas
Gerais - Campus São João Evangelista
como exigência parcial para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia
Florestal.

Orientador: Dr. João Paulo Lemos

Aprovado em: 15/07/2026 pela banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 JOAO PAULO LEMOS
Data: 17/08/2026 10:35:41-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. João Paulo Lemos (Orientador)

Documento assinado digitalmente
 IVAN DA COSTA ILHEU FONTAN
Data: 17/08/2026 07:53:09-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Prof. Dr. Ivan Costa Ilhéu Fontan

Documento assinado digitalmente
 MARINA MARA VIEIRA MARTINS
Data: 17/08/2026 15:14:05-0300
Verifique em <https://validar.itl.gov.br>

Marina Mara Vieira Martins

Dedico este trabalho aos meus pais, Lúcio e Maria de Lourdes, que, sob muito sol, fizeram-me chegar até aqui, na sombra. E às minhas irmãs, Lilian e Iris.

Dedico também à criança sonhadora que nunca desacreditou de onde os seus pés poderiam pisar e se manteve resiliente, vivendo cada experiência que lhe foi ofertada.

AGRADECIMENTOS

“Os que confiam no Senhor são como os montes de Sião, que não se abalam, mas permanecem para sempre.” (Salmos 125:1)

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, que me sustentou durante esta caminhada, concedendo-me serenidade, força e sabedoria.

Agradeço, com todo o meu coração, à minha família.

Ao meu pai, Lúcio Ferreira, e à minha mãe, Maria de Lourdes dos Anjos, que foram minha base e tornaram possível a conclusão desta etapa. Obrigada por abrirem mão de tantas coisas para que eu pudesse alcançar este objetivo, por acreditarem nos meus sonhos mesmo quando pareciam distantes e por serem meu alicerce durante toda esta caminhada. Meu eterno amor e gratidão a vocês. Esta conquista é nossa e, sem a união e o apoio de vocês, nada disso seria possível.

Às minhas irmãs, Iris e Lilian, agradeço pelo apoio incansável, pelo carinho e por caminharem comigo em todos os momentos.

Aos meus amigos da graduação, que se tornaram minha família durante esta caminhada, agradeço pela amizade, pelo companheirismo e por tornarem os dias mais leves e felizes. Ana Flávia, Marco Túlio, Fernanda e Gustavo, obrigada por todo o apoio, pelas experiências compartilhadas e por fazerem parte desta conquista.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista, agradeço pela oportunidade de formação e por contribuir para minha construção profissional como Engenheira Florestal.

Aos professores do curso de Engenharia Florestal, agradeço pelos ensinamentos, pela dedicação e pela contribuição para minha formação acadêmica e profissional.

Ao meu orientador, agradeço pela orientação, paciência, confiança e pelas valiosas contribuições para o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço à Aperam BioEnergia pela oportunidade de realização do experimento e pela estrutura disponibilizada.

RESUMO

O cultivo de mudas clonais desempenha papel fundamental na silvicultura brasileira, sendo a propagação vegetativa por miniestaquia amplamente empregada para a obtenção de materiais geneticamente superiores. O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação foliar de diferentes concentrações do bioestimulante comercial *Stimulate*® sobre o enraizamento, o desenvolvimento inicial e a qualidade de mudas clonais de três híbridos comerciais (C1 e C2, híbridos de *Corymbia*; e E3, híbrido de *Eucalyptus*) no sistema de produção da Aperam BioEnergia, em Itamarandiba - MG. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, no esquema fatorial 3×4 (três clones e quatro doses de *Stimulate*®: 0, 1, 2 e 3 mL L⁻¹), com quatro repetições. Avaliaram-se variáveis de enraizamento, sobrevivência e parâmetros biométricos na casa de vegetação e na fase de rustificação. Os dados foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey ($p < 0,05$). Nas condições avaliadas, a aplicação foliar de *Stimulate*® não promoveu alterações expressivas ou ganhos adicionais nas taxas de enraizamento, no comprimento do sistema radicular e na relação parte aérea/raiz em comparação à testemunha. O efeito das dosagens restringiu-se ao crescimento longitudinal da parte aérea, sem padrão linear de resposta. O fator genético exerceu influência predominante na maioria das variáveis: o clone E3 destacou-se pela superioridade na taxa de enraizamento na rustificação e maior alocação no sistema radicular, enquanto o clone C2 apresentou maior crescimento vegetativo de parte aérea e sensibilidade a concentrações mais elevadas do produto via foliar. Conclui-se que a aplicação foliar de *Stimulate*® nas doses testadas não se mostra efetiva para otimizar a formação das mudas, sendo o desempenho morfofisiológico determinado predominantemente pelo potencial genético de cada clone e suprido pelo sistema de propagação adotado.

Palavras-chave: Bioestimulante. Enraizamento. *Eucalyptus*. Miniestaquia. Propagação clonal.

ABSTRACT

Clonal seedling production plays a fundamental role in Brazilian forestry, with mini-cutting being widely used as a vegetative propagation technique to obtain genetically superior materials. This study aimed to evaluate the effect of foliar application of different concentrations of the commercial biostimulant *Stimulate*® on rooting, early development, and seedling quality of three commercial hybrids (C1 and C2, *Corymbia* hybrids; and E3, *Eucalyptus* hybrid) within the production system of Aperam BioEnergia in Itamarandiba, Minas Gerais, Brazil. The experiment followed a randomized complete block design in a 3×4 factorial scheme (three clones and four biostimulant concentrations: 0, 1, 2, and 3 mL L⁻¹), with four replications. Rooting, survival, and biometric parameters were evaluated in the greenhouse and hardening stage. Data were subjected to analysis of variance and Tukey's test ($p < 0.05$). Under the evaluated conditions, foliar application of *Stimulate*® did not promote expressive changes or additional gains in rooting percentage, root length, or shoot-to-root ratio compared to the control. The effect of biostimulant doses was limited to shoot height, displaying a non-linear response pattern. The genetic factor exerted a predominant influence on most variables: clone E3 achieved superior rooting rates during the hardening stage and greater root system allocation, whereas clone C2 showed higher overall vegetative shoot growth and sensitivity to higher foliar concentrations of the product. It is concluded that foliar application of *Stimulate*® at the tested doses is not necessary to optimize seedling development, as morphophysiological performance is predominantly determined by the genetic potential of each clone and fully supported by the adopted propagation system.

Keywords: Biostimulant. *Eucalyptus*. Clonal propagation. Mini-cutting. Rooting.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Visão geral dos canaletões de fibrocimento no minijardim clonal contendo cepas dos materiais genéticos estudados cobertos pelo estufim®.....	17
Figura 2 – Representação geral das miniestacas dos três clones utilizados no experimento ...	19
Figura 3 – Representação das raízes aparentes na abertura do tubete	20
Figura 4 – Aplicação foliar de hormônio nas bandejas do experimento dentro da casa de vegetação	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo da análise de variância das características avaliadas em mudas clonais de <i>Eucalyptus</i> submetidas à aplicação foliar de diferentes doses de bioestimulante. Aperam bioenergia – Itamarandiba, MG, 2026	23
Tabela 2 – Valores médios das características avaliadas em função dos clones de <i>Eucalyptus</i> submetidos à aplicação foliar de diferentes doses de bioestimulante. IFMG – São João Evangelista, MG, 2026.....	24
Tabela 3 – Valores médios das características avaliadas em função das doses de bioestimulante aplicadas em mudas clonais de <i>Eucalyptus</i> . IFMG – São João Evangelista, MG, 2026	25
Tabela 4 – Porcentagem (%) de estacas enraizadas dos clones dentro de cada nível de dose.	26
Tabela 5 – Comprimento (cm) de raiz dos clones dentro de cada nível de Doseo.....	27
Tabela 6 – Comprimento (cm) da parte aérea das plantas dentro de cada nível de dose.....	28
Tabela 7 – Comprimento (cm) total dos clones dentro de cada nível de dose.....	29
Tabela 8 – Desdobramento do fator Clone dentro de cada nível de Dose do bioestimulante para a relação entre o comprimento da parte aérea e o comprimento do sistema radicular	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Importância do eucalipto no Brasil.....	13
2.2	Propagação Clonal e Miniestaquia.....	14
2.3	Fitormônios e Enraizamento	14
3	METODOLOGIA.....	16
3.1	Área de estudos	16
3.2	Delineamento Experimental	16
3.3	Material genético.....	16
3.4	Manejo e nutrição de minicepa.....	17
3.5	Coleta de brotações e preparo das miniestacas.....	18
3.6	Plantio.....	18
3.7	Casa de vegetação.....	19
3.8	<i>Stimulate</i>®	21
3.9	Condução e avaliações experimentais.....	21
3.10	Aspecto estatístico	22
4	RESULTADO E DISCUSSÃO	23
5	CONCLUSÃO	31
	REFERÊNCIAS.....	32

1 INTRODUÇÃO

Em 2024, o Brasil registrou um total de 10,3 milhões de hectares de florestas cultivadas, dos quais 76,1% eram áreas de *Eucalyptus*, consolidando essa espécie como a principal base da atividade florestal nacional (IBÁ, 2025). Esse protagonismo está diretamente relacionado às características marcantes do *Eucalyptus*, como rápido crescimento, alta produtividade e uso versátil da madeira, que atende a diversos segmentos industriais, especialmente os setores de celulose, papel e geração de energia (EMBRAPA FLORESTAS, 2019). Além disso, o cultivo desempenha papel relevante no âmbito social, contribuindo significativamente para a geração de emprego e renda nas regiões produtoras, e no âmbito ambiental, por sua eficiência no sequestro de carbono, auxiliando na redução de gases de efeito estufa e no cumprimento das metas de descarbonização do país (IBÁ, 2025).

Para atender à demanda por mudas clonais destinadas aos plantios comerciais de *Eucalyptus*, a propagação vegetativa tornou-se uma das principais técnicas empregadas na silvicultura moderna. Esse método permite a multiplicação de genótipos superiores, preservando suas características genéticas e proporcionando maior uniformidade, produtividade e qualidade das florestas plantadas. Entre os métodos de propagação vegetativa, destaca-se a miniestaquia, que utiliza brotações juvenis provenientes de minicepas mantidas em minijardins clonais para a produção de mudas clonais (ALFENAS *et al.*, 2009).

Nesse cenário, o emprego de reguladores de crescimento e bioestimulantes tem sido investigado como estratégia para estimular o enraizamento e favorecer o desenvolvimento inicial de mudas clonais. Esses produtos contêm substâncias capazes de atuar em processos fisiológicos relacionados à divisão, alongação e diferenciação celular, podendo contribuir para o aumento da sobrevivência, do vigor e da qualidade das mudas produzidas (TAIZ *et al.*, 2017; ALFENAS *et al.*, 2009). Entretanto, sua eficiência depende da composição do produto, da dose utilizada, da forma de aplicação e do material genético avaliado, podendo apresentar respostas distintas entre espécies e clones (TAIZ *et al.*, 2017; MARCATO, 2022).

Entre os bioestimulantes utilizados na produção de mudas destaca-se o *Stimulate*®, composto pelos reguladores vegetais ácido indolbutírico (AIB), cinetina e ácido giberélico (GA α), cuja associação busca favorecer o crescimento e o desenvolvimento vegetal. Apesar dos resultados promissores observados em algumas culturas, sua resposta em híbridos clonais de *Eucalyptus* e *Corymbia* apresenta variações, justificando novos estudos (ALFENAS *et al.*, 2009).

Diante desse contexto, este estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes concentrações do bioestimulante comercial *Stimulate*®, aplicado via foliar, sobre o enraizamento, o desenvolvimento inicial e características morfológicas de mudas clonais de híbridos comerciais utilizados no sistema de produção da Aperam BioEnergia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Importância do eucalipto no Brasil

Embora não haja registros precisos sobre a introdução do gênero *Eucalyptus* no Brasil, estima-se que sua chegada tenha ocorrido por volta de 1868, inicialmente com fins ornamentais no estado do Rio de Janeiro. Com o passar dos anos, o gênero passou a ser amplamente utilizado como fonte de energia, suprimindo as demandas de locomotivas a vapor e das indústrias siderúrgicas. Atualmente, o cultivo de *Eucalyptus* ocupa papel central na economia florestal brasileira, destacando-se pela produção de celulose, papel, painéis de madeira reconstituída e biomassa para energia (RODRIGUES, 2024).

O gênero *Eucalyptus*, originário principalmente da Austrália, destaca-se entre os gêneros florestais mais cultivados no Brasil, apresentando importância estratégica para os setores de celulose e papel, siderurgia, painéis de madeira, biomassa energética e produção de madeira sólida. Além de sua elevada produtividade, rápido crescimento e ampla adaptação às condições edafoclimáticas brasileiras, a cultura contribui significativamente para a economia nacional, geração de empregos e exportações, consolidando o Brasil entre os maiores produtores mundiais de produtos florestais. Em 2024, o país ultrapassou 10 milhões de hectares de florestas plantadas, sendo aproximadamente 8 milhões de hectares ocupados por eucalipto, o que evidencia sua importância econômica, social e ambiental (Indústria Brasileira de Árvores, 2024).

Essa expansão da área destinada às árvores para fins industriais está associada, predominantemente, à ocupação de áreas anteriormente degradadas, especialmente pastagens de baixa produtividade, evidenciando o compromisso do setor florestal com a intensificação sustentável do uso da terra. Do total da área plantada, aproximadamente 8,1 milhões de hectares correspondem ao cultivo de eucalipto, 1,9 milhão de hectares ao de pinus e cerca de 0,5 milhão de hectares a outras espécies florestais. Os plantios concentram-se principalmente nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná e Santa Catarina, todos com áreas superiores a um milhão de hectares. Além disso, observa-se um crescimento contínuo da silvicultura brasileira ao longo da última década, passando de 7,7 milhões de hectares em 2014 para 10,3 milhões de hectares em 2024, consolidando o Brasil como uma referência mundial na produção de florestas plantadas de elevada produtividade e base sustentável (IBÁ, 2025).

O gênero *Eucalyptus* apresenta ampla variedade de usos e se destaca como alternativa sustentável na redução do desmatamento de florestas nativas, ao suprir a demanda

por madeira e outros produtos florestais. Além disso, mostra-se promissor na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas, uma vez que é eficiente na absorção de dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera, especialmente aquele proveniente da queima de combustíveis fósseis (TEIXEIRA, 2018).

2.2 Propagação Clonal e Miniestaquia

A miniestaquia constitui uma das principais técnicas de propagação vegetativa empregadas na produção de mudas clonais de *Eucalyptus* e *Corymbia*. A técnica utiliza brotações provenientes de minicepas mantidas em minijardins clonais, geralmente conduzidos sob condições controladas de fertirrigação e manejo fitossanitário. Esse sistema possibilita elevada produtividade de propágulos, maior eficiência operacional e melhor controle das condições de produção das mudas (ALFENAS *et al.*, 2009; XAVIER *et al.*, 2021).

Além de aumentar a eficiência da propagação clonal, a miniestaquia possibilita a multiplicação em larga escala de materiais genéticos superiores, preservando suas características e contribuindo para a uniformidade dos plantios florestais. O controle das condições de cultivo nos minijardins clonais favorece a produção de mudas mais vigorosas, com maior potencial de sobrevivência e estabelecimento no campo, tornando essa técnica um dos pilares da silvicultura clonal moderna (VALE, 2013).

2.3 Fitormônios e Enraizamento

Os fitormônios são compostos orgânicos naturais produzidos pelas plantas em concentrações extremamente baixas e que atuam como reguladores do crescimento e desenvolvimento vegetal. Entre os principais grupos, destacam-se auxinas, citocininas, giberelinas, etileno e ácido abscísico (TAIZ *et al.*, 2017).

No enraizamento de estacas, as auxinas desempenham papel fundamental, especialmente o ácido indolbutírico (AIB) e o ácido naftalenoacético (ANA), por estimularem a formação de raízes adventícias. As auxinas promovem a desdiferenciação celular e ativam a divisão e alongação das células na região basal da estaca, além de influenciar o transporte de nutrientes e a expressão de genes relacionados ao desenvolvimento radicular (HARTMANN *et al.*, 2011). Contudo, o efeito das auxinas depende de diversos fatores, como a espécie vegetal, o tipo de estaca (herbácea, semilenhosa ou lenhosa), a concentração utilizada, o tempo de exposição e as condições ambientais. A exemplo da importância destes fatores citados, observa-

se que concentrações inadequadas podem causar fitotoxicidade, necrose dos tecidos e redução da taxa de enraizamento (FAGAN *et al.*, 2022).

O *Stimulate*® é um bioestimulante vegetal formulado com três fitormônios que atuam de forma sinérgica no desenvolvimento das plantas: 0,05 g/L de ácido indolbutírico (AIB), uma auxina responsável por estimular a formação de raízes adventícias; 0,09 g/L de cinetina, uma citocinina que promove a divisão celular e a brotação; e 0,05 g/L de ácido giberélico (GA₃), pertencente ao grupo das giberelinas, que favorece o alongamento celular e o crescimento da parte aérea. Essa formulação trihormonal tem sido amplamente utilizada para potencializar o enraizamento de estacas e melhorar o vigor inicial de mudas em programas de propagação clonal, inclusive de espécies florestais como *Eucalyptus* e *Corymbia* (STOLLER DO BRASIL, 2024).

Considerando o efeito dose-dependente das auxinas, é fundamental avaliar diferentes concentrações do produto para maximizar o desenvolvimento radicular sem causar fitotoxicidade. O manejo correto das doses de *Stimulate*® pode contribuir para aumentar a eficiência das técnicas de propagação clonal em viveiros florestais, garantindo maior qualidade e produtividade das mudas de *Eucalyptus* e *Corymbia*.

Dessa forma, o uso de auxinas sintéticas representa uma ferramenta fundamental na propagação vegetativa de espécies florestais, contribuindo para a formação de mudas mais uniformes, com maior vigor e maior potencial de estabelecimento após o plantio.

3 METODOLOGIA

3.1 Área de estudos

O experimento foi desenvolvido no viveiro de produção de mudas clonais na Aperam Bioenergia, localizado no município de Itamarandiba, Minas Gerais, do Alto Vale do Jequitinhonha, Sudeste do Brasil. O local está situado nas coordenadas geográficas: Latitude: 17°51'24" Sul, Longitude: 42°51'40" Oeste, e apresenta clima do tipo Cwa, caracterizado por inverno seco e verão quente e úmido (IBGE, 2021).

3.2 Delineamento Experimental

O experimento foi conduzido em esquema fatorial 3×4 delineamentos em blocos casualizados (DBC) contendo quatro (4) repetições. Os dois fatores estudados foram os clones de *Eucalyptus* e *Corymbia*, sendo três clones (Clone C1 híbrido de *Corymbia*, Clone C2 híbrido de *Corymbia* e Clone E3 híbrido de *Eucalyptus*) C1 e C2 híbrido de *Corymbia*, e E3 híbrido *Eucalyptus*, e por fim o bioestimulante *stimulate*®, ao qual usou-se quatro níveis em doses (0 ml L⁻¹, 1 ml L⁻¹, 2 ml L⁻¹ e 3 ml L⁻¹), correspondentes a uma combinação entre a dose do bioestimulante e o clone. A dose (0 mL, sem adição de *Stimulate*®) permitiu o estabelecimento de uma base comparativa acerca dos efeitos reais do bioestimulante no crescimento e desenvolvimento radicular das mudas.

O experimento foi conduzido em esquema fatorial, por permitir a avaliação simultânea dos efeitos dos fatores e da interação entre eles, proporcionando maior eficiência na interpretação dos resultados (PIMENTEL-GOMES, 2009).

3.3 Material genético

No experimento conduzido, foram utilizados três clones comerciais provenientes do minijardim clonal da Aperam BioEnergia, sendo dois híbridos do gênero *Corymbia* (C1 e C2) e um híbrido do gênero *Eucalyptus* (E3).

As plantas matrizes que deram origem aos clones C1, C2, e E3 foram plantadas no município de Itamarandiba, estado de Minas Gerais, entre os anos de 2022 e 2023. As matrizes foram plantadas em canaletões de fibrocimento contendo 25 cm de cascalho (granulometria entre 2 e 5 mm) e 5 cm de brita, com espaçamento de 10 cm × 10 cm (ROCHA, 2022) cobertos

por estufim®, que é uma cobertura plástica utilizada para cobrir o canaletão, onde estão armazenadas as cepas, com a finalidade de manter alta umidade e condições favoráveis à formação de raízes., que auxilia no controle de temperatura e umidade.

Figura 1 – Visão geral dos canaletões de fibrocimento no minijardim clonal contendo cepas dos materiais genéticos estudados cobertos pelo estufim®



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Os clones foram definidos por apresentarem potencial de crescimento, características de interesse comercial, como densidade, rusticidade e utilização em plantios comerciais da empresa. A inclusão dos materiais do gênero *Corymbia* também esteve relacionada ao interesse em avaliar seu desempenho quanto ao enraizamento, considerando as limitações observadas para esse grupo de materiais na propagação vegetativa.

As miniestacas foram produzidas individualmente em tubetes de plástico com 55 mL de capacidade, em uma bandeja com capacidade para 176 tubetes. Cada bandeja foi considerada uma unidade experimental, conforme a organização experimental adotada.

3.4 Manejo e nutrição de minicepa

Previamente da instalação do experimento, os canaletões foram visitados e selecionados afim de avaliar a presença de pragas, e doenças nas miniestacas, além de eliminar miniestacas que apresentaram estiolamento.

Diariamente, com um intervalo de três horas, realizou-se a nutrição das cepas via irrigação. A solução nutritiva foi composta por monoamônio fosfato em pó ($1,55 \text{ g L}^{-1}$), sulfato de magnésio ($0,5 \text{ g L}^{-1}$), cloreto de potássio em pó ($0,6 \text{ g L}^{-1}$), cloreto de cálcio ($0,5 \text{ g L}^{-1}$), sulfato de zinco (4 mg L^{-1}), hidroferro (24 mg L^{-1}), ácido bórico (11 mg L^{-1}), sulfato de

manganês (14 mg L^{-1}) e sulfato de cobre (2 mg L^{-1}). A condutividade elétrica da solução nutritiva foi mantida entre $1,8$ a $2,5 \text{ mS m}^{-2}$ e o pH ajustado à $5,7$ a $6,0 (\pm 0,1)$, corrigido com ácido clorídrico (HCl) e hidróxido de sódio (NaOH), ambos a 1 M estabelecidas por Alfenas *et al.* (2009). Semanalmente, monitorou a eletrocondutividade dos canaletões, ao qual foi permitido monitorar a nutrição e avaliar a viabilidade das cepas para realização dos testes (ALFENAS *et al.*, 2009).

3.5 Coleta de brotações e preparo das miniestacas

As miniestacas foram provenientes do minijardim clonal da aparam bioenergia. A coleta foi realizada na segunda quinzena do mês de março de 2024, utilizando tesoura, e luvas desinfetadas, garantindo assepsia do material.

Após a coleta, as brotações foram imediatamente acondicionadas em um recipiente térmico contendo aproximadamente dois litros de água fria, com o objetivo de preservar a turgescência dos tecidos vegetais até o momento do preparo das miniestacas.

As atividades de coleta e estaqueamento das miniestacas foram conduzidas em ciclos operacionais. Cada colaborador realizou a coleta das miniestacas por um período de aproximadamente 50 minutos, seguida da etapa de estaqueamento por igual intervalo de tempo. Esse procedimento foi repetido de forma contínua até a finalização da operação programada. Cada colaboradora realizou o corte das miniestacas seguindo um padrão predeterminado, com tamanho entre 6 e 10 cm, contendo de dois a três pares de folhas, com redução foliar de 50% das folhas mais velhas.

3.6 Plantio

As miniestacas previamente preparadas foram encaminhadas ao setor de plantio e inseridas em tubetes de polipropileno rígido com capacidade de 55 cm^3 , aproximadamente 12 cm de altura e 2,8 cm de diâmetro superior, preenchidos com substrato.

Cada miniestaca foi inserida individualmente em um tubete, a uma profundidade entre 0,5 e 2,0 cm, posicionada no centro do recipiente e perpendicularmente ao substrato. Durante o processo de plantio, as miniestacas receberam irrigação em intervalos de aproximadamente cinco minutos, com o objetivo de preservar a turgescência dos tecidos.

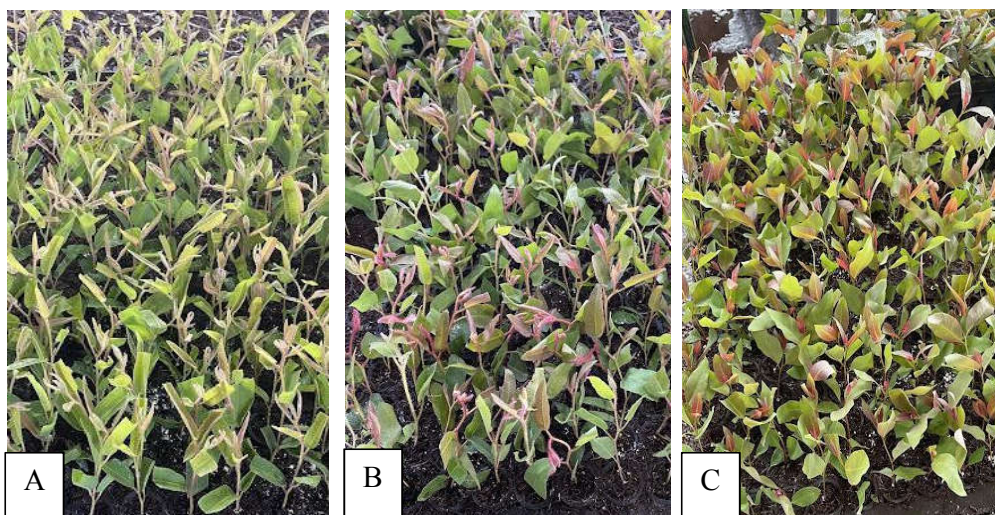
As bandejas, com capacidade para 176 tubetes, foram preenchidas com substrato composto por casca de arroz, vermiculita e fibra de coco. Antes do preenchimento, as bandejas

foram submetidas à assepsia por imersão em água quente a aproximadamente 75 °C durante 30 segundos. Posteriormente, foram preenchidas com o substrato utilizando-se equipamento denominado “batedor”, empregado para promover o preenchimento uniforme dos tubetes.

Após o plantio, as bandejas foram transportadas até a casa de vegetação.

Cada clone contou com quatro bandejas de cento e setenta e seis tubetes, sendo que cada tubete continha uma miniestaca, sendo 4 bandejas por clone, por dose. O método de plantio adotado foi o convencional usado na empresa, via estaquia. O processo de estaqueamento teve duração de uma jornada de trabalho, oito horas diárias, contando com três colaboradoras para o plantio, sendo que cada uma fez um plantio de um clone. No total foram plantadas 8.448 miniestacas, em 48 bandejas. Cada clone foi representado por 16 bandejas, totalizando 2.816 miniestacas por clone. Considerando os três clones, foram utilizadas 48 bandejas, contendo 176 tubetes cada, totalizando 8.448 miniestacas. O plantio foi realizado de maneira uniforme, seguindo os mesmos procedimentos para todos os tratamentos.

Figura 2 – Representação geral das miniestacas dos três clones utilizados no experimento



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

3.7 Casa de vegetação

Na casa de vegetação, as miniestacas permaneceram durante 30 dias. Nesse período, foram submetidas à irrigação diária, cuja frequência foi ajustada de acordo com as condições de temperatura e umidade do ambiente. Também foram realizados acompanhamentos periódicos da umidade e das condições fitossanitárias das mudas.

A temperatura no interior da casa de vegetação foi mantida entre 30 e 35 °C durante o período experimental.

Foram realizadas duas aplicações foliares do bioestimulante, utilizando-se borrifador manual previamente higienizado após cada aplicação, a fim de reduzir o risco de contaminação entre os tratamentos. Após a emissão de raízes na base dos tubetes, procedeu-se à avaliação do enraizamento das miniestacas.

Figura 3 – Representação das raízes aparentes na abertura do tubete



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

A casa de vegetação utilizada no experimento era equipada com janelas laterais para ventilação natural e portas laterais do tipo rolante, favorecendo a circulação de ar e o manejo das mudas. As bandejas foram dispostas sobre bancadas metálicas suspensas, permitindo melhor drenagem, uniformidade na irrigação e facilitando as operações de manejo. O piso totalmente cimentado contribuiu para a assepsia do ambiente e para o deslocamento seguro entre as bancadas. Na entrada da casa de vegetação, havia um pedilúvio (tapete sanitizante), utilizado para a higienização dos calçados dos colaboradores, visando reduzir o risco de introdução e disseminação de patógenos no ambiente de produção.

A irrigação foi realizada por meio de um sistema de microaspersão, responsável pela distribuição uniforme de gotas de água sobre as miniestacas. A frequência e a vazão das irrigações foram ajustadas de acordo com as condições climáticas e o estágio de desenvolvimento das mudas, mantendo elevados níveis de umidade relativa e condições favoráveis ao enraizamento e ao desenvolvimento inicial das miniestacas.

3.8 *Stimulate*®

O *Stimulate*® é um regulador de crescimento vegetal, apresentado na forma de concentrado solúvel, cuja ação está associada à presença de fitohormônios em sua formulação. O *Stimulate*® apresenta em sua formulação 0,005% de ácido indolbutírico (AIB), 0,009% de cinetina e 0,005% de ácido giberélico (GA₃).

A aplicação do bioestimulante foi realizada via foliar utilizando um borrifador manual, de forma uniforme sobre todas as miniestacas. Foram avaliadas quatro concentrações do produto: 0 (testemunha), 1, 2 e 3 mL L⁻¹, preparadas por meio da diluição do bioestimulante em 5 L de água. As aplicações foram realizadas em dois momentos durante a permanência das mudas na casa de vegetação: a primeira no segundo dia após o estaqueamento e a segunda no décimo quinto dia, ambas no período da manhã. Em todas as aplicações, buscou-se manter a uniformidade da pulverização, garantindo que todas as mudas de cada bloco recebessem volume semelhante da solução, de modo a assegurar a homogeneidade experimental.

Figura 4 – Aplicação foliar de hormônio nas bandejas do experimento dentro da casa de vegetação



Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

3.9 Condução e avaliações experimentais

As avaliações foram realizadas ao longo do processo de produção das mudas clonais, abrangendo as fases de casa de vegetação e rustificação também conhecida como aclimação, com o objetivo de quantificar o efeito das diferentes concentrações do regulador

de crescimento *Stimulate*® sobre o enraizamento, a sobrevivência e o desenvolvimento inicial das plantas.

O enraizamento das mudas na casa de vegetação foi avaliado aos 30 dias após o estaqueamento, e para avaliação realizou-se contagem do número de miniestacas vivas em cada tubete, sendo levadas em consideração aquelas raízes que foram sendo vistas no fundo de cada tubete. Foram consideradas sobreviventes as mudas que apresentavam tecidos íntegros, folhas verdes e ausência de sintomas de necrose ou morte.

Após a saída da casa de vegetação, as mudas foram transferidas para a fase de aclimação, em que foi realizada a avaliação da taxa de enraizamento das plantas, após 10 dias de permanência nesse ambiente. O procedimento consistiu na contagem das mudas vivas em cada bloco, considerando os mesmos critérios adotados para a fase anterior. Os resultados também foram expressos em porcentagem.

Todas as avaliações foram realizadas nas dependências do viveiro florestal da Aparam BioEnergia, em Itamarandiba, Minas Gerais, utilizando régua graduada em centímetros para as medições biométricas e planilhas de campo para o registro dos dados, os quais foram posteriormente organizados em planilhas eletrônicas para análise estatística.

3.10 Aspecto estatístico

Os dados experimentais foram submetidos à análise de variância (ANOVA) para a verificação da existência de efeitos significativos dos fatores testados, seguindo os pressupostos de aditividade, normalidade e homocedasticidade dos erros descritos por Pimentel-Gomes (2009). Nos casos em que o teste F da ANOVA indicou significância estatística, procedeu-se à comparação de médias por meio do teste de Tukey, adotando-se o nível de 5% de probabilidade de erro ($\alpha = 0,05\%$), conforme recomendado por Ramalho *et al.* (2012) para ensaios comparativos de materiais genéticos. Ressalta-se que o delineamento experimental em esquema fatorial adotado permitiu avaliar não apenas os impactos isolados de cada material genético (clones) e das concentrações do regulador de crescimento (doses), mas também a ocorrência de interação entre esses fatores (Ferreira, 2019), possibilitando identificar o comportamento específico de cada clone em resposta às diferentes dosagens aplicadas.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Abaixo apresenta-se a seção de Resultados e Discussão referente aos desdobramentos da interação entre Clones (C1, C2 e E3) e Doses/Tratamentos (T0, T1, T2 e T3) para as variáveis morfofisiológicas avaliadas, fundamentada com base na fisiologia do enraizamento adventício e ação fitohormonal.

Tabela 1 – Resumo da análise de variância das características avaliadas em mudas clonais de *Eucalyptus* submetidas à aplicação foliar de diferentes doses de bioestimulante. Aperam bioenergia – Itamarandiba, MG, 2026¹

FV	G L	ENR CV	ENR RUST	CMR	CPA	CTP	CPA/CMR
Bloco	3	85,11	205,91	31,41	8,79*	20,18	0,0056
Dose	3	296,06ns	729,30ns	26,69ns	28,03**	86,11**	0,0133ns
Clone	2	61,40ns	14361,08**	199,24**	136,40**	533,86**	0,1337**
Clone × Dose	6	397,37ns	502,19ns	7,30ns	27,62**	38,62*	0,0141ns
Resíduo	27	1480,81	397,57	12,77	2,55	15,54	0,0062
CV (%)	–	29,12	23,8	17,19	8,21	9,8	27,54

Fonte: Elaborado pela autora, 2026.

A análise de variância apresentada no Quadro 1 demonstra que a resposta das mudas clonais de *Eucalyptus* e *Corymbia* à aplicação foliar do bioestimulante variou conforme a característica avaliada. De maneira geral, observou-se que o fator **clone** exerceu maior influência sobre o desempenho das mudas, apresentando efeito significativo para as variáveis enraizamento na rustificação (ENR-R), comprimento médio de raízes (CMR), comprimento da parte aérea (CPA), comprimento total da planta (CTP) e relação entre comprimento da parte aérea e comprimento de raízes (CPA/CMR). Esses resultados evidenciam a importância do

¹**Legenda:** ENR CV = enraizamento na casa de vegetação; ENR RUST = enraizamento na rustificação; CMR = comprimento médio de raízes (cm); CPA = comprimento da parte aérea (cm); CTP = comprimento total da planta (cm); CPA/CMR = relação entre comprimento da parte aérea e comprimento de raízes.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro ($p < .01$), *significativo ao nível de 5% de probabilidade de erro ($.01 \leq p < .05$) e ns não significativo ($p \geq .05$) para o teste F.

componente genético no crescimento e desenvolvimento das mudas, indicando que os materiais avaliados apresentam potenciais distintos para o enraizamento e crescimento inicial.

Em relação às doses do bioestimulante, verificou-se efeito significativo apenas para as variáveis comprimento da parte aérea e comprimento total da planta, indicando que a aplicação do produto influenciou principalmente o crescimento da porção aérea das mudas. Por outro lado, as doses não promoveram diferenças estatísticas para o enraizamento na casa de vegetação, enraizamento na rustificação, comprimento de raízes e relação CPA/CMR, sugerindo que, nas condições experimentais adotadas, o bioestimulante não proporcionou ganhos consistentes nessas características.

A interação entre clone e dose foi significativa apenas para o comprimento da parte aérea e para o comprimento total das mudas, demonstrando que a resposta ao bioestimulante depende do material genético avaliado. Esse comportamento indica que determinados clones apresentam maior sensibilidade às concentrações aplicadas, enquanto outros respondem de forma semelhante independentemente da dose utilizada. Para as demais variáveis, a ausência de interação significativa demonstra que o efeito das doses foi uniforme entre os clones estudados.

Tabela 2 – Valores médios das características avaliadas em função dos clones de *Eucalyptus* submetidos à aplicação foliar de diferentes doses de bioestimulante. IFMG – São João Evangelista, MG, 2026²

Clone	ENR CV (%)	ENR RUST (%)	CMR (cm)	CPA (cm)	CTP (cm)	CPA/CMR
C1	76 a	31 c	17,97 b	19,99 b	37,96 b	1,11 a
C2	75 a	44 b	24,74 a	22,06 a	46,80 a	0,90 a
E3	73 a	65 a	19,64 b	16,29 c	35,94 b	0,83 b

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Os valores médios apresentados na Tabela 2 evidenciam diferenças entre os clones para a maioria das características avaliadas. Para o enraizamento na casa de vegetação (ENR-CV), não foram observadas diferenças significativas entre os materiais genéticos, indicando

²Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

ENR CV = enraizamento na casa de vegetação; ENR RUST = enraizamento na rustificação; CMR = comprimento médio de raízes (cm); CPA = comprimento da parte aérea (cm); CTP = comprimento total da planta (cm); CPA/CMR = relação entre comprimento da parte aérea e comprimento de raízes.

comportamento semelhante quanto à emissão inicial de raízes adventícias. Esse resultado corrobora a análise de variância, na qual o fator clone não apresentou efeito significativo para essa variável.

Em contrapartida, para o enraizamento na rustificação (ENR-R), verificou-se superioridade do clone E3, seguido por C2 e C1, demonstrando que a sobrevivência das mudas durante essa fase depende do potencial genético de cada material. Esse comportamento sugere que determinados clones apresentam maior capacidade de manter o desenvolvimento radicular e suportar as condições da fase de rustificação.

O clone C2 apresentou os maiores valores para comprimento médio de raízes (CMR), comprimento da parte aérea (CPA) e comprimento total da planta (CTP), diferindo estatisticamente dos demais materiais para essas características. Esses resultados indicam maior vigor vegetativo desse clone, refletindo em um crescimento mais equilibrado e maior potencial para a produção de mudas de qualidade.

Para a relação CPA/CMR, os clones C1 e C2 apresentaram médias superiores e estatisticamente semelhantes entre si, enquanto o clone E3 apresentou menor valor. Essa diferença demonstra que os materiais genéticos possuem padrões distintos de distribuição do crescimento entre parte aérea e sistema radicular, característica que pode influenciar o desempenho das mudas após o transplântio.

Em conjunto, esses resultados reforçam que o fator genético foi determinante para o desempenho das mudas, influenciando significativamente a maioria das variáveis avaliadas.

Tabela 3 – Valores médios das características avaliadas em função das doses de bioestimulante aplicadas em mudas clonais de *Eucalyptus*. IFMG – São João Evangelista, MG, 2026³

Dose (mL L⁻¹)	ENR CV(%)	ENR RUST(%)	CMR (cm)	CPA (cm)	CTP (cm)	CPA/CMR
0 (T0)	76,13 a	51,23 a	22,99 a	21,01 a	44,00 a	0,288 a
1 (T1)	77,39 a	47,86 a	20,31 a	18,63 b	38,93 b	0,263 a
2 (T2)	75,85 a	50,00 a	20,13 a	17,73 b	37,86 b	0,261 a
3 (T3)	70,97 a	41,28 a	19,72 a	20,43 a	40,14 ab	0,333 a

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

³Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os valores médios das doses do bioestimulante demonstram que a aplicação foliar promoveu respostas distintas apenas para algumas características de crescimento. Para o enraizamento na casa de vegetação (ENR-CV), enraizamento na rustificação (ENR-R), comprimento médio de raízes (CMR) e relação CPA/CMR, não foram observadas diferenças significativas entre as doses avaliadas. Esses resultados indicam que, nas condições experimentais deste estudo, as concentrações utilizadas não influenciaram o processo de formação e desenvolvimento inicial do sistema radicular.

Para o comprimento da parte aérea (CPA), as doses de 0 mL L⁻¹ (T0) e 3 mL L⁻¹ (T3) apresentaram as maiores médias e diferiram das doses de 1 mL L⁻¹ (T1) e 2 mL L⁻¹ (T2). Esse comportamento evidencia que o efeito do bioestimulante sobre o crescimento da parte aérea não ocorreu de forma linear, uma vez que a testemunha apresentou desempenho semelhante à maior dose aplicada.

Resultado semelhante foi observado para o comprimento total da planta (CTP), no qual a testemunha apresentou a maior média, diferindo das doses de 1 e 2 mL L⁻¹, enquanto a dose de 3 mL L⁻¹ apresentou comportamento intermediário. Dessa forma, embora a análise de variância tenha indicado efeito significativo das doses para essa variável, os resultados do teste de Tukey demonstram que não houve incremento progressivo do crescimento em função do aumento da concentração do bioestimulante.

Assim, os resultados sugerem que a aplicação do bioestimulante promoveu respostas pontuais sobre o crescimento da parte aérea e o comprimento total das mudas, porém sem um padrão consistente de aumento do desempenho à medida que se elevaram as concentrações aplicadas.

Tabela 4 – Porcentagem (%) de estacas enraizadas dos clones dentro de cada nível de dose⁴

	T0	T1	T2	T3
C1	28,69% bc	34,38% bc	41,19% Bc	23,15% bc
C2	55,26% Ac	43,75% bc	47,02% ABc	35,09% bc
E3	69,74% Ab	65,48% Ab	61,79% Ab	65,63% Ab

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Analisando a taxa de enraizamento, observa-se uma resposta estatística contrastante entre os genótipos. O clone E3 apresentou o melhor desempenho absoluto em todos os

⁴Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de comparação de médias a 5% de probabilidade.

tratamentos avaliados (T0 a T3), mantendo médias superiores a 61% (valores ajustados/transformados do experimento) e figurando isolado com a letra maiúscula 'A' nas colunas. Ademais, o clone E3 não sofreu alteração significativa em função das doses aplicadas (letras minúsculas 'a' em toda a linha), demonstrando elevada estabilidade genotípica e alta capacidade morfogênica de enraizamento adventício independente do estímulo hormonal exógeno.

De acordo com Hartmann *et al.* (2011), a capacidade de rizogênese adventícia está intrinsecamente ligada ao balanço hormonal endógeno, em especial ao nível de auxina livre (como o ácido indol-3-acético - AIA) no tecido basal da estaca. Genótipos "fáceis de enraizar", como o clone E3, sintetizam e mantêm níveis ideais de auxina endógena e cofatores de enraizamento (compostos fenólicos), dispensando o aporte de fitorreguladores exógenos (Xavier *et al.*, 2013; Taiz *et al.*, 2017).

Por outro lado, o clone C2 apresentou expressiva redução na porcentagem de enraizamento com o incremento das doses, caindo de 55% em T0 para 35% em T3 (mudando de 'a' para 'b'). Esse comportamento evidencia o efeito fitotóxico do excesso de auxina em genótipos sensíveis. Conforme salientado por Taiz *et al.* (2017), concentrações supraótimas de auxina estimulam a rota biossintética do etileno através do aumento da atividade da enzima ACC sintase, o que desencadeia processos de senescência foliar, inibição mitótica e diminuição da taxa de enraizamento. O clone C1 manteve-se no menor grupo de médias (letra B) em todas as doses (23% a 41%), evidenciando recalcitrância relativa à rizogênese, fato frequentemente associado à presença de inibidores bioquímicos ou à ausência de receptores celulares de auxina funcionais no câmbio vascular (Hartmann *et al.*, 2011; Wendling *et al.*, 2014).

Tabela 5 – Comprimento (cm) de raiz dos clones dentro de cada nível de Doseo⁵

	T0	T1	T2	T3
C1	18.75 bc	17.82 bc	17.62 bc	17.67 bc
C2	26.10 Ab	24.45 Ab	24.67 Ab	23.75 Ab
E3	24.12 Ab	18.65 Abc	18.07 bc	17.72 bc

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

Para a variável comprimento de raiz, o clone C2 destacou-se com o maior crescimento radicular longitudinal em todas as doses (23,75 cm a 26,10 cm), sobressaindo-se

⁵ Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de comparação de médias a 5% de probabilidade.

isolado com a letra maiúscula 'A' em todas as colunas e sem sofrer diminuição estatística na linha ('a'). O clone E3, que se igualava a C2 na testemunha T0 (24,12 cm; 'A'), sofreu uma redução acentuada até atingir 17,72 cm em T3 ('B'). O clone C1 manteve os menores valores médios (17,62 a 18,75 cm; 'B').

Fisiologicamente, a auxina exógena possui um modelo de ação bimodal (curva em formato de U invertido) no sistema radicular: enquanto concentrações micromolares estimulam a indução de primórdios radiculares, concentrações mais elevadas inibem a elongação celular radicular (Raven *et al.*, 2014). Como bem explicam Kerbaudy (2019) e Taiz *et al.* (2017), o alongamento radicular exige uma concentração limiar de auxina substancialmente menor do que a necessária para a indução do primórdio primário. A queda observada no comprimento de raiz do clone E3 a partir de T1 comprova que o tratamento exógeno elevou a concentração hormonal interna a níveis supra ótimos, travando a expansão da parede celular mediada pela hipótese do crescimento ácido (Rayle & Cleland, 1992).

Tabela 6 – Comprimento (cm) da parte aérea das plantas dentro de cada nível de dose⁶

	T0	T1	T2	T3
C1	18,00 bc	19,52 Ac	20,07 Ac	22,37 Ac
C2	26,90 Ab	21,75 Ab	17,32 Ab	22,25 Ab
E3	18,12 bc	14,60 bc	15,80 Ac	16,65 bc

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

No tocante à parte aérea, o clone C2 apresentou o maior comprimento inicial em T0 (26,90 cm; 'A'), superando os demais genótipos. Contudo, nas doses T1 e T2, ocorreu uma equalização estatística entre os clones ('B'). Destaca-se o comportamento do clone C1, que respondeu positivamente ao incremento das doses, elevando seu comprimento aéreo de 18,00 cm (T0) para 22,37 cm (T3), com alteração de 'b' para 'a'. O clone E3 manteve os menores valores de parte aérea (14,60 cm a 18,12 cm).

Essa dinamicidade de alocação de biomassa entre raiz e parte aérea é explicada pelas relações de dreno- fonte e dominância apical. De acordo com Fachinello *et al.* (2005), a aplicação exógena de reguladores de crescimento em estacas de genótipos com menor nível auxínico basal (como o C1) pode reativar gemas dormentes e favorecer a síntese metabólica de

⁶Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de comparação de médias a 5% de probabilidade.

giberelinas na parte aérea, impulsionando a divisão e o alongamento dos internódios. Por outro lado, o direcionamento preferencial de carboidratos solúveis para o enraizamento maciço no clone E3 reduz a disponibilidade de energia (ATP) para o crescimento caulinar rápido, demonstrando o efeito de competição metabólica intrínseca entre drenos vegetativos (Santos, 2011).

Tabela 7 – Comprimento (cm) total dos clones dentro de cada nível de dose⁷

	T0	T1	T2	T3
C1	36,75 bc	37,35 bc	37,70 bAc	40,05 bAc
C2	53,00 AB	46,20 Ab	42,00 Ab	46,00 Ab
E3	42,25 bA	33,25 bc	33,87 bc	34,37 bAc

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

O comprimento total sintetiza o vigor vegetativo global da muda. O clone C2 manteve a liderança em porte vegetativo no controle T0 (53,00 cm; 'A'). Entretanto, o incremento hormonal provocou queda imediata no porte total de C2 e E3 em T1 (46,20 cm e 33,25 cm, respectivamente), demonstrando uma readequação morfológica da muda. Em contrapartida, o clone C1 registrou aumento contínuo no comprimento total (36,75 cm a 40,05 cm).

Conforme discutido por Hartmann *et al.* (2011) e Xavier *et al.* (2013), a qualidade morfológica final da muda produzida por miniestquia ou estaquia não depende exclusivamente do comprimento linear total, mas sim da relação adequada entre a biomassa radicular e aéreas (índice de qualidade de Dickson). O clone C2 expressa um vigor vegetativo genético superior em termos de comprimento, enquanto o clone E3 direciona seu potencial genético para uma altíssima densidade de enraizamento, caracterizando-o como o material mais eficiente do ponto de vista de arquitetura funcional e sobrevivência em viveiro e campo.

⁷Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de comparação de médias a 5% de probabilidade.

Tabela 8 – Desdobramento do fator Clone dentro de cada nível de Dose do bioestimulante para a relação entre o comprimento da parte aérea e o comprimento do sistema radicular⁸

	T0	T1	T2	T3
C1	0,39 bAc	0,30 bAc	0,26 bc	0,44 AC
C2	0,26 bAc	0,31 Ac	0,31 bc	0,39 Ac
E3	0,20 bc	0,16 bc	0,20 bc	0,15 bc

Fonte: Elaborado pela autora, 2024.

A variável CPA_CMV (relação entre o comprimento da parte aérea e o comprimento do sistema radicular) é um indicador de equilíbrio alométrico fundamental para avaliar o padrão morfológico e a robustez da muda produzida. Observa-se que o clone E3 manteve os menores valores médios da relação em todos os tratamentos (variando entre 0,15 e 0,20), caracterizando-se por uma linha uniforme com letras minúsculas 'bb'. Esse padrão reflete a dominância do crescimento radicular em relação à parte aérea, gerando mudas com sistema radicular amplo e proporcionalmente maior.

Em contrapartida, o clone C1 atingiu a maior relação CPA_CMV no tratamento T3 (0,44 'AA'), indicando um desequilíbrio alométrico com direcionamento acentuado de biomassa para o alongamento caulinar em detrimento do crescimento radicular. O clone C2 apresentou comportamento intermediário a elevado (0,26 a 0,39), demonstrando variações no balanço aéreo/radicular conforme a aplicação exógena.

Do ponto de vista ecofisiológico, uma menor relação parte aérea/raiz (como a observada no clone E3) é altamente favorável para mudas florestais e frutíferas durante a fase de aclimação e campo. Conforme destacado por Caldeira *et al.* (2012) e Gomes & Paiva (2011), plantas com menor índice CPA/CR apresentam menor taxa de transpiração em relação à capacidade de absorção de água e nutrientes, reduzindo o estresse hídrico pós-plantio. Por outro lado, incrementos excessivos na relação CPA/CR (como o registrado em C1 em T3) aumentam a suscetibilidade da muda ao tombamento e ao murchamento em condições de menor disponibilidade hídrica no solo (Taiz *et al.*, 2017; Hartmann *et al.*, 2011).

⁸Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de comparação de médias a 5% de probabilidade.

5 CONCLUSÃO

Nas condições experimentais avaliadas, a aplicação foliar do regulador de crescimento *Stimulate*® nas diferentes concentrações 0, 1, 2 e 3 mL L⁻¹ testadas, não resultou em alterações expressivas ou ganhos adicionais no enraizamento, no desenvolvimento inicial e na qualidade morfofisiológica das mudas clonais. Os índices de enraizamento nas fases de casa de vegetação e rustificação, o comprimento do sistema radicular e a relação entre parte aérea e raiz mantiveram-se em patamares semelhantes aos do tratamento testemunha, enquanto o crescimento longitudinal apresentou respostas pontuais e independentes do aumento das dosagens.

O padrão de desenvolvimento e a qualidade final das mudas foram direcionados predominantemente pelas características genéticas inerentes a cada clone. O material E3 híbrido de *Eucalyptus*, mostrou-se superior em taxas de enraizamento, estabilidade genotípica, e maior alocação no sistema radicular. O clone C2 híbrido de *Corymbia*, maior vigor vegetativo aéreo, sensibilidade a doses elevadas, e efeito fitotóxico em doses supraótimas. Já o clone C1 híbrido de *Corymbia*, apresentou recalcitrância relativa ao enraizamento, e resposta positiva em crescimento aéreo.

Dessa forma, para o protocolo de manejo e as condições operacionais do viveiro da Aperam BioEnergia, a aplicação foliar de *Stimulate*® nas doses avaliadas não se mostrou necessária para otimizar a formação das mudas dos genótipos estudados.

Recomenda-se a realização de novos estudos avaliando outras concentrações, diferentes das utilizadas neste trabalho, e diferentes formas de aplicação, visando ampliar o conhecimento sobre a resposta de híbridos comerciais de *Eucalyptus* e *Corymbia* ao uso do bioestimulante *Stimulate*®.

REFERÊNCIAS

- ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2009. 500 p.
- BRONDANI, G. E.; WENDLING, I.; GROSSI, F.; DUTRA, L. F.; ARAÚJO, M. A. Miniestaquia de *Eucalyptus benthamii* × *Eucalyptus dunnii*: (II) sobrevivência e enraizamento de miniestacas em função das coletas e estações do ano. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 453-465, 2010. DOI: <https://doi.org/10.5902/198050982060>. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/2060>. Acesso em: 15 mar. 2026.
- CALDEIRA, M. V. W.; DELARMELINA, W. M.; FARIA, J. C. T.; JUVANHOL, R. S. Qualidade de mudas de espécies florestais produzidas em diferentes substratos. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 20, n. 3, p. 348-356, 2013. DOI: <https://doi.org/10.4322/floram.2013.041>. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/floram.2013.041>. Acesso em: 20 mar. 2026.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Cultivo do eucalipto**. Colombo: Embrapa Florestas, 2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/florestas/cultivos/eucalipto>. Acesso em: 10 mar. 2026.
- FACHINELLO, J. C. *et al.* **Propagação de plantas frutíferas**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. 221 p.
- FAGAN, E. B. *et al.* **Fisiologia vegetal: reguladores vegetais**. 2. ed. São Paulo: Andrei, 2022.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot designs. **Revista Brasileira de Biometria**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 529-535, 2019. DOI: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>. Disponível em: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>. Acesso em: 15 nov. 2025.
- GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, E. A. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rarv/a/cCfXhbwHwJ4LLmFpXZJfH6x/>. Acesso em: 12 nov. 2025.
- GOMES, J. V. *et al.* Sobrevivência e crescimento de estacas de híbrido de *Corymbia* inoculadas com bactérias endofíticas produtoras de auxinas. In: SIMPÓSIO DE INTEGRAÇÃO ACADÊMICA – SINTEGRA, 2023, Diamantina. **Anais [...]**. Diamantina: UFVJM, 2023. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/sintegra/736790-sobrevivencia-e-crescimento-de-estacas-de-hibrido-de-Corymbia-inoculadas-com-bacterias-endofiticas-produtoras-de-a/>. Acesso em: 17 jan. 2026.
- HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES JR., F. T.; GENEVE, R. L. **Plant propagation: principles and practices**. 8th ed. Boston: Prentice Hall, 2011. 915 p.
- INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **Relatório Anual Ibá 2025**. São Paulo: Ibá, 2025. Disponível em: <https://iba.org/relatorio-iba>. Acesso em: 05 fev. 2026.
- KERBAUY, G. B. **Fisiologia Vegetal**. 3. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2019.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451 p.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 3. ed. Lavras: Editora UFLA, 2012. 322 p.

RAVEN, P. H. *et al.* **Biologia Vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.

ROCHA, F. M. *et al.* Uso de estufim e de AIB para o enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus urophylla* × *Eucalyptus pellita*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 32, p. 1460-1478, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/ccTcDkcRJswfXSNhc59yX7n/>. Acesso em: 15 fev. 2026.

RODRIGUES, G. S. S. C. *et al.* **Eucalipto no Brasil: expansão geográfica e impactos ambientais**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/>. Acesso em: 11 abr. 2026.

SANTOS, Juliano de Paulo dos *et al.* Enraizamento de estacas lenhosas de espécies florestais. **CERNE**, Lavras, v. 17, n. 3, p. 293-301, set. 2011. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cerne/a/5QhjMBcQb57SGzcwZfJY9mz/?lang=pt>. Acesso em: 15 mar. 2026.

SANTOS, Juliano de Paulo dos *et al.* Qualidade fisiológica e anatômica de miniestacas de espécies florestais. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 7, n. 1, p. 113-121, 2012.

SILVA, F. M. S.; SILVA, A. R.; GOMES, E. M. *et al.* Respostas fisiológicas de plantas jovens de *Eucalyptus urophylla* tratadas com bioestimulante sob déficit hídrico. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 29, n. 3, p. 1293-1305, 2019. DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509826206>. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/26206>. Acesso em: 18 mar. 2026.

STOLLER DO BRASIL LTDA. **Stimulate®**. Cosmópolis, SP, 2024. Disponível em: <https://www.stoller.com.br>. Acesso em: 16 jul. 2026.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2024.

TEIXEIRA, G. *et al.* **A expansão da eucaliptocultura no estado de Minas Gerais e a configuração de novos usos do território**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/>. Acesso em: 10 jan. 2026.

VALE, A.; CARDOSO, M.; PIRES, J.; VILAR, M.; COSTA, C.; NACIF, A. **Eucaliptocultura no Brasil: silvicultura, manejo e ambiência**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2013.

WENDLING, I. *et al.* Maturação e rejuvenescimento em plantas lenhosas para propagação vegetativa. **Bosque**, Valdivia, v. 35, n. 3, p. 277-289, 2014. Disponível em: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-92002014000300002. Acesso em: 22 mar. 2026.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas de propagação vegetativa**. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2021. 272 p.