

Produção de mudas clonais de *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. ex K. Schum. por miniestaquia sob diferentes concentrações de ácido indolbutírico

Annanda Souza de Campos^{1*}, Rafael Barbosa Diógenes Lienard¹, Lucas Graciolli Savian², Barbara Valentim de Oliveira¹, Felipe Coelho de Souza¹, Paulo André Trazzi¹

¹Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre, Brasil. ²Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, Rio Grande do Sul, Brasil. *annanda.campos@sou.ufac.br

Recebido em: 01/09/2025 Aceito em: 12/02/2026 Publicado em: 20/04/2026

DOI: <https://doi.org/10.29327/269504.8.1-7>

RESUMO

A limitação na disponibilidade e viabilidade de sementes de espécies florestais amazônicas tem impulsionado o uso de técnicas de propagação clonal para a produção de mudas de alta qualidade. Nesse contexto, este estudo avaliou o efeito de diferentes concentrações de ácido indolbutírico (AIB) no enraizamento e no desenvolvimento inicial de miniestacas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. ex K. Schum. (Rubiaceae), espécie de relevância ecológica e econômica na Amazônia. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, com quatro concentrações de AIB (0; 2.000; 4.000 e 8.000 mg L⁻¹) e três repetições. A sobrevivência e o enraizamento (RBT%) aos 60 e 160 dias após o estaqueamento não foram influenciados pela aplicação do regulador, indicando baixa dependência da auxina para o estabelecimento inicial da rizogênese. Em contraste, concentrações intermediárias, especialmente 4.000 mg L⁻¹, favoreceram o desenvolvimento radicular, resultando em maior comprimento de raízes, redução da relação altura/diâmetro (H/D), maior acúmulo de biomassa na raiz (MSR) e incremento do índice de qualidade de Dickson (IQD). Esses resultados evidenciam que, embora o AIB não aumente a porcentagem de enraizamento inicial, contribui para a formação de mudas estruturalmente equilibradas e com maiores chances de estabelecimento em campo. Conclui-se que a miniestaquia associada a concentrações intermediárias de AIB, principalmente 4.000 mg L⁻¹, representa alternativa promissora para a produção clonal de *C. spruceanum*, favorecendo sua aplicação em programas de restauração ecológica e sistemas produtivos sustentáveis na Amazônia.

Palavras-chave: Clonagem. Auxina. Viveiro florestal. Enraizamento. Qualidade de mudas.

Clonal propagation of *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. ex K. Schum. by mini-cutting under different indole-3-butyric acid concentrations

ABSTRACT

The limited availability and viability of seeds of Amazonian forest species has driven the use of clonal propagation techniques for producing high-quality seedlings. In this context, this study evaluated the effect of different concentrations of indole-3-butyric acid (IBA) on rooting and early development of mini-cuttings of *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. ex K. Schum. (Rubiaceae), a species of ecological and economic relevance in the Amazon. The experiment was carried out in a randomized block design with four IBA concentrations (0, 2,000, 4,000 and 8,000 mg L⁻¹) and three replications. Survival and rooting (RBT%) at 60 and 160 days after cutting were not influenced by regulator application, indicating low auxin

dependence for the initial establishment of rhizogenesis. In contrast, intermediate concentrations, especially 4,000 mg L⁻¹, favored root development, resulting in greater root length, reduced height-to-diameter ratio (H/D), greater root dry mass (RDM), and increased Dickson Quality Index (DQI). These results show that although IBA does not increase initial rooting percentage, it contributes to the formation of structurally balanced seedlings with greater chances of establishment in the field. We conclude that mini-cutting associated with intermediate IBA concentrations, particularly 4,000 mg L⁻¹, represents a promising alternative for clonal production of *C. spruceanum*, supporting its application in ecological restoration programs and sustainable production systems in the Amazon.

Keywords: Clonal propagation. Auxin. Forest nursery. Rooting. Seedling quality.

INTRODUÇÃO

A restauração ecológica em larga escala depende da produção contínua de mudas nativas de qualidade, elemento essencial para o sucesso de programas de recomposição florestal em regiões tropicais. Entre as espécies amazônicas de destaque, *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. ex K. Schum. (Rubiaceae), conhecida como mulateiro, destaca-se pelo elevado valor ecológico e socioeconômico, tanto pela madeira de alta densidade e durabilidade, amplamente empregada em construções e paisagismo (Guedes *et al.*, 2021; Carvalho, 2003), quanto pelo potencial medicinal, atribuído à presença de compostos bioativos com propriedades antimicrobianas, cicatrizantes e antioxidantes (Peixoto *et al.*, 2018). Em estudos conduzidos no Peru, Cornelius *et al.* (2018) observaram crescimento acelerado, madeira densa e durável, além de ampla variabilidade genética em populações naturais, características que favorecem seu uso em programas florestais.

Além do potencial produtivo, a espécie apresenta propriedades farmacológicas relevantes. Estudos fitoquímicos identificaram seco-iridóides e outros metabólitos bioativos na casca, associados à atividade antioxidante e ao aumento da longevidade em organismos modelo como *Caenorhabditis elegans* (Peixoto *et al.*, 2018; Zuleta *et al.*, 2003). Tais evidências reforçam o uso tradicional da espécie em comunidades amazônicas.

Apesar de seu potencial, a propagação sexuada da espécie é limitada. Em florestas de várzea da Amazônia Central, Conserva e Camargo *et al.* (2017) verificaram que a germinação de espécies arbóreas com características ecológicas semelhantes tende a ser lenta e irregular, dificultando a oferta contínua de mudas para programas de restauração.

Na Amazônia, a intensificação das mudanças climáticas, caracterizada pela elevação das temperaturas médias, alterações no regime de chuvas e maior ocorrência de secas severas, vêm afetando processos fenológicos e fisiológicos, modificando o período de frutificação e reduzindo a viabilidade das sementes (Morellato *et al.*, 2016; Pedroso *et al.*, 2021). Essas alterações podem impactar a fotossíntese, o investimento foliar e a

reprodução, resultando em menor produção de frutos, floração reduzida ou até mortalidade de árvores (Domingues *et al.*, 2018; Brando *et al.*, 2006), intensificando a sazonalidade das coletas e dificultando o abastecimento contínuo de viveiros florestais.

Diante disso, técnicas de propagação vegetativa têm sido propostas como alternativas viáveis. A miniestaquia permite a clonagem de matrizes selecionadas e a produção contínua de mudas ao longo do ano. A eficiência desse método pode ser potencializada pela aplicação de reguladores de crescimento, entre os quais se destaca o ácido indolbutírico (AIB), capaz de estimular a formação de raízes e acelerar o desenvolvimento das mudas (Azad e Matin, 2015; Moura *et al.*, 2019). Entretanto, a resposta ao AIB varia conforme a espécie e a dose aplicada, enquanto concentrações intermediárias tendem a favorecer a rizogênese, doses elevadas podem provocar fitotoxicidade e reduzir significativamente o enraizamento (Pessanha *et al.*, 2018), como observado em *Plathymania reticulata* (Pessanha *et al.*, 2018), ressaltando a necessidade de definir doses adequadas para cada espécie.

Embora estudos específicos com *C. spruceanum* sejam escassos, pesquisas com espécies nativas de rápido crescimento e uso madeireiro semelhante, como *Cordia trichotoma*, demonstram que a aplicação de AIB melhora o enraizamento e resulta em mudas de melhor qualidade (Avinio *et al.*, 2022). Assim, o uso de AIB associado à miniestaquia pode constituir estratégia eficiente para viabilizar a produção de mudas de *C. spruceanum*, reduzindo a dependência da sazonalidade reprodutiva e favorecendo o desenvolvimento dos plantios. Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar a eficiência da miniestaquia no enraizamento e no desenvolvimento inicial de *Calycophyllum spruceanum* sob diferentes concentrações de ácido indolbutírico (AIB).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O experimento foi conduzido no viveiro florestal do Parque Zoobotânico da Universidade Federal do Acre (UFAC), em Rio Branco, Acre, Brasil (10°01'30" S; 67°48'36" W), situado na Amazônia Sul-Occidental. O clima local, segundo a classificação de Köppen, é do tipo **Am** (tropical chuvoso de monção) (Alvares *et al.*, 2014).

Manejo do minijardim clonal

Foram utilizadas mudas de *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. ex K. Schum. (Rubiaceae), provenientes do Viveiro da Floresta, unidade de produção sob gestão da Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Acre (SEMA-AC).

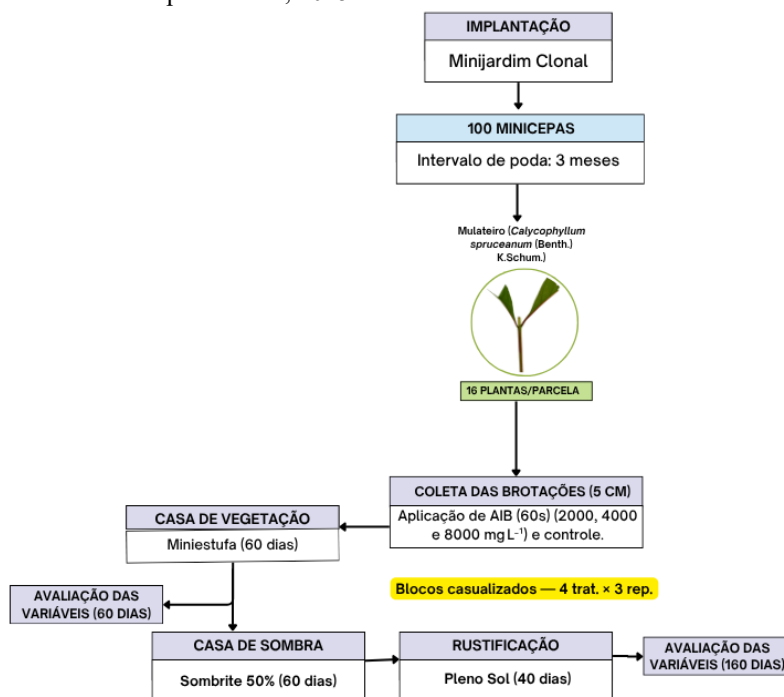
Na coleta de sementes, as árvores matrizes foram selecionadas considerando fenologia, estado sanitário e macromorfológico, bem como a qualidade das sementes. Buscou-se garantir a representatividade genética por meio da coleta em um número elevado de matrizes, seguindo os preceitos de Vencovsky (1987). As sementes foram tratadas conforme as Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2013), considerando as especificidades de armazenamento, beneficiamento e/ou quebra de dormência, quando necessária. Após a germinação, as plântulas foram repicadas para tubetes de 55 cm³, onde permaneceram por dois meses até a implantação no minijardim clonal.

O minijardim foi instalado em ambiente protegido, coberto com tela de sombreamento de 50%, com solo recoberto por rafia e brita, e equipado com bancadas suspensas. Utilizaram-se vasos de 5 L contendo substrato comercial (Pilar Produtos Agroecológicos Ltda., Lages, Santa Catarina), composto por casca de *Pinus*, cinzas, casca de arroz carbonizada, fosfato natural e calcário dolomítico, apresentando pH de $5,8 \pm 0,5$, condutividade elétrica de $0,7 \pm 0,3$ mS/cm, umidade de 55% e capacidade de retenção de água de 80%, acrescido de areia lavada na proporção de 3:1 (v/v), prática comum em viveiros florestais. Foram estabelecidas 100 minicepas por espécie, alocadas em vasos contendo três minicepas cada, de modo a assegurar área mínima de 400 cm² por planta.

A fertirrigação manual foi realizada semanalmente (150 mL por vaso) com solução nutritiva contendo (mg L⁻¹): monoamônio fosfato (40), sulfato de magnésio (133), nitrato de potássio (219), sulfato de amônio (123), nitrato de cálcio (200), ácido bórico (5,88), sulfato de manganês (5,33), molibdato de sódio (0,05), sulfato de cobre (0,4), sulfato de zinco (5) e sulfato de ferro (33), conforme Barbosa Filho *et al.* (2018).

O manejo de podas foi realizado com três intervenções em intervalos trimestrais, sendo que, para todas as espécies, a última poda correspondeu à coleta do material propagativo (Figura 1).

Figura 1 - Fluxograma do experimento de produção de mudas via miniestaqueia, contemplando a aplicação de ácido indolbutírico (AIB) e avaliações aos 60 e 160 dias após o estaqueamento para *Calycophyllum spruceanum*. Fonte: Elaborado pela autora, 2025.



Coleta e enraizamento das miniestacas

As miniestacas apicais foram coletadas conforme Wendling *et al.* (2005), com aproximadamente 5 cm de comprimento e duas folhas reduzidas pela metade no ápice, a fim de minimizar a transpiração.

Após a coleta, as miniestacas foram mantidas em água e submetidas à imersão basal por 60 s em soluções líquidas de AIB nas concentrações 2.000, 4.000 e 8.000 mg L⁻¹, preparadas por dissolução do regulador em NaOH 1 mol L⁻¹ e posterior diluição em água destilada. Como controle, utilizou-se miniestacas imersas apenas em água destilada (0 mg L⁻¹).

O estaqueamento foi realizado em tubetes de 55 cm³ preenchidos com substrato comercial. Além disso, os tubetes foram dispostos em miniestufa de sistema fechado, revestida com lona plástica de 200 μm de espessura e equipada com irrigação automatizada (duas irrigações/hora entre 11h00 e 16h00 e uma irrigação/hora nos demais horários), acionada por motobomba e temporizador acoplados a um reservatório de 1.000 L.

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, com três repetições e três concentrações de AIB (2.000, 4.000 e 8.000 mg L⁻¹), além do tratamento controle. O número de miniestacas por parcela foi definido de acordo com a

disponibilidade de propágulos vegetativos, variando conforme a produção das espécies no minijardim clonal. Dessa forma, utilizou-se 1.6 miniestacas por parcela.

Aos 60 dias em casa de vegetação, as mudas clonais foram avaliadas quanto à sobrevivência (%) e ao enraizamento, determinado pela presença de raízes visíveis na base do tubete (RBT, %). Em seguida, permaneceram por 60 dias em casa de sombra e por 40 dias a pleno sol para rustificação.

Após 160 dias de estaqueamento, foram avaliadas novamente quanto à sobrevivência (%) e mensuraram-se as seguintes variáveis: altura da parte aérea (medida do coleto até o ápice caulinar com régua milimetrada), diâmetro do coleto (DC, aferido com paquímetro digital de precisão), comprimento radicular (CR, obtido pela medição da raiz principal com régua milimetrada), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca da raiz (MSR), ambas determinadas após secagem em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C até peso constante. Além disso, calcularam-se a relação MSPA/MSR, a razão altura/diâmetro (H/D) e o Índice de Qualidade de Dickson (IQD), o qual integra parâmetros de biomassa e proporções morfológicas das mudas, permitindo uma avaliação mais robusta da qualidade do material propagado. O IQD foi obtido conforme a equação:

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

em que:

MST = massa seca total (g);

H = altura da parte aérea (cm);

DC = diâmetro do coleto (mm);

MSPA = massa seca da parte aérea (g);

MSR = massa seca da raiz (g).

Análise de dados

Os dados foram submetidos à verificação da homogeneidade das variâncias pelo teste de Bartlett ($p < 0,05$) e da normalidade dos resíduos pelo teste de Shapiro-Wilk ($p < 0,05$). Atendidos os pressupostos, realizou-se análise de variância (ANOVA) com base no delineamento em blocos casualizados (DBC), adotando-se nível de significância de 5% ($p < 0,05$). Quando identificadas diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As análises estatísticas foram realizadas no programa R Studio versão setembro de 2024.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A propagação clonal de espécies florestais tropicais por miniestaquia tem se consolidado como alternativa promissora para a produção de mudas com qualidade superior, especialmente quando associada ao uso de auxinas sintéticas como o ácido indolbutírico (AIB). Esse regulador atua estimulando processos fisiológicos, os quais são fortemente dependentes da concentração de auxinas no tecido vegetal (Hartmann *et al.*, 2017).

A sobrevivência das miniestacas aos 60 e 160 dias após o estaqueamento, bem como o enraizamento inicial (RBT%) aos 60 dias, não diferiram entre as concentrações de AIB, indicando que o estabelecimento inicial da rizogênese depende majoritariamente da fisiologia intrínseca dos propágulos. Esse comportamento confirma o relatado por Gatti (2002), que encontrou 100% de sobrevivência e enraizamento em todas as doses testadas (0, 1.000, 2.000 e 3.000 mg L⁻¹), com efeito apenas na antecipação da emissão de raízes.

Resultados semelhantes de variação na resposta também foram descritos por Nery *et al.* (2014) em *Psychotria nuda* (casca-de-anta): no outono, o maior enraizamento ocorreu em 0 mg L⁻¹, enquanto em outras estações 3.000 mg L⁻¹ foi mais eficiente. Esses autores destacaram ainda que a presença de folhas exerceu efeito mais determinante sobre a sobrevivência do que a aplicação do regulador. De modo geral, em Rubiaceae, a eficiência da miniestaquia parece depender mais da qualidade fisiológica e da origem das miniestacas do que da aplicação de auxinas sintéticas, cujo efeito tende a ser limitado ou até prejudicial em concentrações elevadas (Taiz e Zeiger, 2017).

Aos 160 dias, as variáveis altura e diâmetro do coleto mantiveram-se inalterados entre os tratamentos (Tabela 1).

Tabela 1 - Altura da parte aérea, diâmetro do coleto (DC), comprimento de raiz (CR), relação altura/diâmetro (H/D) e índice de qualidade de Dickson (IQD) de mudas clonais de *Calycophyllum spruceanum* aos 160 dias após o estaqueamento, sob diferentes concentrações de ácido indolbutírico (AIB).

<i>Calycophyllum spruceanum</i>					
AIB (mg L ⁻¹)	Altura (cm)	*DC (mm)	*CR (cm)	*H/D	*IQD
0	18,98	4,81	18,58 ab	3,92 a	0,26 b
2.000	18,29	4,6	18,53 ab	3,98 a	0,26 b
4.000	14,83	5,45	20,46 a	2,69 b	0,42 a
8.000	13,79	4,55	15,95 b	3,03 b	0,36 ab
CV (%)	13,15	8,57	6,96	8,2	12,37

*DC = diâmetro do coleto; H/D = relação altura/diâmetro do coleto; IQD = índice de qualidade de Dickson. Médias seguidas pela mesma letra na coluna, ou sem letra adjacente, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O melhor desempenho em altura, ainda que sem diferença significativa, na ausência da auxina, sugere baixa dependência dessa auxina para o crescimento em altura. A estabilidade desses parâmetros sugere que o regulador não alterou substancialmente o crescimento da parte aérea, aspecto já observado em espécies lenhosas nas quais a auxina exógena atua prioritariamente na formação e fortalecimento do sistema radicular (Hartmann *et al.*, 2017).

Esse comportamento também indica que o ganho estrutural obtido não está condicionado ao crescimento primário em altura, reforçando que tais variáveis isoladas possuem menor relevância para predição de desempenho em campo (Fonseca *et al.*, 2002). Para garantir maior sobrevivência, estabelecimento e produtividade dos povoamentos, a ênfase deve recair sobre características que expressem melhor o equilíbrio da planta, como a robustez da parte aérea e, sobretudo, o desenvolvimento radicular (Gomes e Paiva, 2011).

O diâmetro do coleto (DC) também não apresentou diferenças significativas entre as doses de AIB avaliadas. Ainda assim, as médias permaneceram próximas ao intervalo de 5 a 10 mm, considerado ideal para a produção de mudas de qualidade (Gonçalves *et al.*, 2000), e foram superiores aos 2 a 4 mm relatados por Xavier *et al.* (2003) em *C. fissilis*, espécie nativa amazônica também propagada por miniestaquia.

Em contraste, o comprimento radicular respondeu à aplicação de AIB, evidenciando maior sensibilidade do sistema subterrâneo ao regulador. A concentração intermediária analisada (4000 mg L^{-1}) favoreceu a alongação das raízes, possivelmente em função da maior ativação de expansinas e da elevação da plasticidade da parede celular induzidas por auxina, mecanismos associados ao alongamento celular (Taiz e Zeiger, 2017; Fattorini *et al.*, 2017). Esse padrão difere do observado em outras espécies nativas, como *Schizolobium amazonicum* (paricá), em que raízes mais longas foram obtidas com 32.000 mg L^{-1} (Dias *et al.*, 2015), e *Handroanthus heptaphyllus* (ipê-rosa), que respondeu positivamente a 8.000 mg L^{-1} (Oliveira *et al.*, 2016).

A redução observada em 8.000 mg L^{-1} sugere o início de respostas supraótimas, associadas à intensificação da síntese de etileno ou ao redirecionamento metabólico para a formação de raízes laterais em detrimento do crescimento em comprimento (Ludwig-Müller, 2005). Pode estar associada ainda ao grau de juvenilidade da planta-matriz, ao

estado fisiológico dos propágulos e à presença de níveis endógenos de auxinas e enzimas indutoras da rizogênese, como fosforilase de amido, amilases e cinases (Quan *et al.*, 2022). É importante destacar que estacas juvenis geralmente apresentam concentrações endógenas de ácido indol-3-acético (AIA) suficientes para desencadear o enraizamento sem suplementação externa (Hartmann *et al.*, 2017). Assim, a aplicação de doses elevadas pode ter ultrapassado o limiar fisiológico da espécie, causando efeitos negativos sobre as mudas.

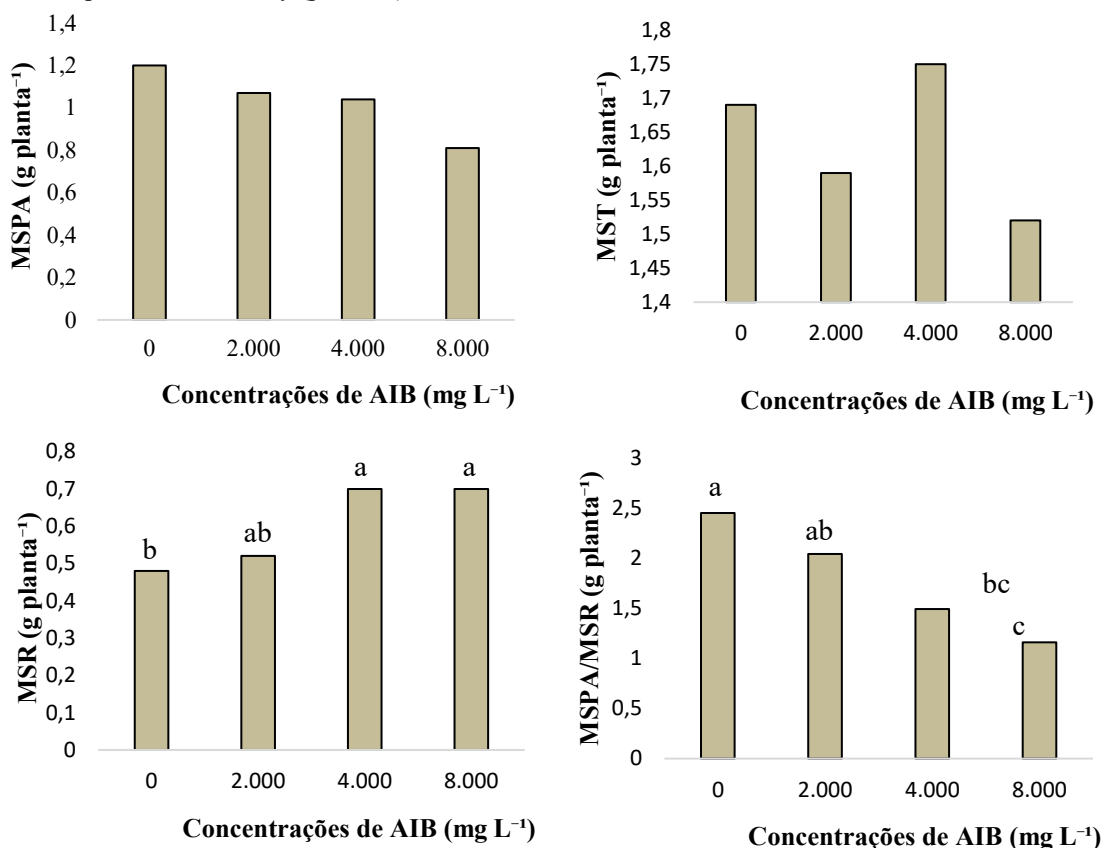
A razão altura/diâmetro (H/D) é um parâmetro amplamente utilizado para avaliar a robustez estrutural de mudas (Carneiro, 1995; Gomes *et al.*, 2002). A auxina contribuiu para a redução da H/D significativamente a partir de 4.000 mg L⁻¹, refletindo maior robustez morfológica. De forma comparativa, os valores obtidos superaram aqueles relatados por Fonseca e Cruz (2004) para *Tabebuia impetiginosa* (ipê- roxo), produzida por sementes em condições de viveiro, evidenciando o potencial da miniestaquia para gerar mudas estruturalmente estáveis.

O índice de qualidade de Dickson (IQD), por integrar altura, diâmetro e massa seca, é considerado um dos indicadores mais completos de qualidade morfológica (Gomes *et al.*, 2002). No presente estudo, esse parâmetro respondeu positivamente ao AIB, com maior valor em 4.000 mg L⁻¹, estatisticamente semelhante ao observado em 8.000 mg L⁻¹, refletindo ganhos estruturais integrados decorrentes do maior desenvolvimento radicular. Esses valores superaram os registrados para *Hymenaea courbaril* (Moura *et al.*, 2019) e *Cordia trichotoma* (Avinio *et al.*, 2022), reforçando o potencial da miniestaquia para produzir mudas de elevada qualidade morfológica.

A presença de um sistema radicular funcional, formado ainda na fase de viveiro, é determinante para o sucesso no estabelecimento, crescimento e sobrevivência das mudas após o transplante, pela capacidade de absorver água, nutrientes e originar novas raízes (Haase, 2008). A aplicação exógena de reguladores de crescimento, como as auxinas, tem papel central na indução da rizogênese, influenciando direta ou indiretamente a formação e o desenvolvimento do sistema radicular, com impactos sobre as variáveis de biomassa e qualidade morfológica das mudas (Hartmann *et al.*, 2017; Fattorini *et al.*, 2017).

Os dados de massa seca encontram-se representados na **Figura 2**.

Figura 2 - Biomassa radicular (MSR), biomassa da parte aérea (MSPA), biomassa seca total (MST) e relação MSPA/MSR de miniestacas de *Calycophyllum spruceanum* aos 160 dias, em função de diferentes concentrações de AIB (mg L⁻¹). Médias seguidas pela mesma letra, ou sem letra adjacente, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).



A massa seca da raiz (MSR) foi a variável mais responsiva ao AIB, com incrementos a partir de 2.000 mg L⁻¹ e manutenção dos maiores valores sob 4.000–8.000 mg L⁻¹. Esse padrão reforça o papel central da auxina na indução e diferenciação de raízes adventícias e laterais (Hartmann *et al.*, 2017). Respostas semelhantes a doses intermediárias foram documentadas para *Tabebuia aurea* (Souza *et al.*, 2023) e *Plathymenia reticulata* (Pessanha *et al.*, 2018), cujo melhor resultado foi obtido entre 3.500 e 4.200 mg L⁻¹ indicando que a faixa intermediária de AIB tende a representar o ótimo fisiológico para espécies tropicais lenhosas.

Em contraste com o enraizamento (RBT%), que não foi estatisticamente influenciado pela aplicação do regulador em nenhuma das espécies, o incremento na MSR sugere uma resposta tardia ao AIB. Esse comportamento está relacionado à natureza do regulador, que atua como pró-auxina e precisa ser convertido em AIA nos peroxissomos para induzir a rizogênese. Por se tratar de um processo gradual, o estímulo inicial ao enraizamento pode ser retardado, mas tende a prolongar-se, resultando em maior acúmulo

radicular ao longo do tempo (Strader *et al.*, 2010; Ljung, 2013; Ludwig-Müller *et al.*, 2005).

A massa seca da parte aérea (MSPA) não diferiu estatisticamente entre os tratamentos, contudo, verificou-se tendência de redução sob doses elevadas (8.000 mg L⁻¹), sugerindo que concentrações supraótimas podem limitar o crescimento caulinar. Esse efeito pode ser decorrente do desbalanço hormonal induzido por excesso de auxina, que pode inibir divisão e alongação celular, estimular a síntese de etileno e reduzir a atividade de citocininas (Taiz e Zeiger, 2017), fenômeno também observado em *Eucalyptus urophylla* sob altas doses de AIB (Lana *et al.*, 2008).

A relação MSPA/MSR diminuiu progressivamente com o aumento das concentrações, atingindo valores inferiores a 2,0 sob 4.000–8.000 mg L⁻¹, o que evidencia forte alocação de biomassa ao sistema radicular. Relações nessa faixa indicam maior capacidade de absorção de água e nutrientes, maior rusticidade e melhor desempenho pós-plantio (Gomes e Paiva, 2011). Comportamento semelhante foi observado em *Calophyllum brasiliense* e *Inga laurina* sob miniestaquia (Avelino *et al.*, 2021), corroborando a consistência desse parâmetro como indicador de qualidade em espécies tropicais.

A massa seca total (MST) manteve-se estável entre os tratamentos, indicando que o AIB modulou principalmente a redistribuição de biomassa, aumentando o setor radicular, em alterar de forma expressiva o crescimento aéreo. De forma integrada, *C. spruceanum* apresentou desempenho superior em 4.000 mg L⁻¹, com manutenção dos ganhos estruturais sob 8.000 mg L⁻¹. Concentrações intermediárias promoveram maior desenvolvimento radicular, melhor arquitetura morfológica (menor H/D) e maior IQD, resultando em mudas mais equilibradas e potencialmente mais competitivas em condições de campo.

CONCLUSÃO

De forma integrada, a análise de biomassa, proporções morfológicas e IQD demonstra que a miniestaquia associada a doses intermediárias de AIB, principalmente 4.000 mg L⁻¹, representa alternativa promissora para a produção clonal de *C. spruceanum*, favorecendo sua aplicação em programas de restauração ecológica e sistemas produtivos sustentáveis na Amazônia.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro concedido ao projeto. Agradecemos também ao Viveiro da Floresta (Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Acre) pelo fornecimento de materiais e doação de mudas florestais; à Universidade Federal do Acre (UFAC) pelo apoio institucional; ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (CIFLOR/UFAC) pelo suporte técnico e acadêmico; e ao Grupo de Pesquisa SILVIPRO pela assistência científica durante o desenvolvimento do estudo.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M., SPAROVEK, G. **Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- AVELINO, N. R.; SCHILLING, A. C.; DALMOLIN, Â. C.; SANTOS, M. S. D.; MIELKE, M. S. Alocação de biomassa e indicadores de crescimento para a avaliação da qualidade de mudas de espécies florestais nativas. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 4, p. 1733-1750, 2021.
- AVINIO, R. S.; MALHEIROS, A. C.; MACULAN, L. G.; GAZZANA, D.; LENCINA, K. H.; TONETTO, T. D. S.; BISOGNIN, D. A. Rooting of mini-cuttings and quality of plantlets of *Cordia trichotoma*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 57, p. e02970, 2022.
- AZAD, S.; MATIN, A. Effect of indole-3-butyric acid on clonal propagation of *Swietenia macrophylla* through branch cutting. **Journal of Botany**, v. 2015, n. 1, p. 249308, 2015.
- BARBOSA FILHO, J.; CARVALHO, M. A.; OLIVEIRA, L. S.; KONZEN, E. R.; BRONDANI, G. E. Mini-cutting technique for *Khaya anthotheca*: selection of suitable IBA concentration and nutrient solution for its vegetative propagation. **Journal of Forestry Research**, v. 29, n.1, p. 73-84, 2018.
- BRANDO, P.; RAY, D.; NEPSTAD, D.; CARDINOT, G.; CURRAN, L. M.; OLIVEIRA, R. Effects of partial throughfall exclusion on the phenology of *Coussarea racemosa* (Rubiaceae) in an east-central Amazon rainforest. **Oecologia**, v. 150, n. 2, p. 181-189, 2006.
- BRASIL. Instruções para análise de sementes de espécies florestais. 1ª Ed. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2013. 97. p.
- CARNEIRO, J. G. de A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.
- CARVALHO, P. E. R. Espécies arbóreas brasileiras. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**, v. 1, p. 557-564, 2003.
- CONSERVA, A. S.; CAMARGO, J. L. C.; DE SANTANA, D. G.; PIEDADE, M. T. F. Germinative behaviour of ten tree species in white-water floodplain forests in central Amazonia. **Folia Geobotanica**, v. 53, n. 1, p. 89-101, 2017.
- CORNELIUS, J. P.; PINEDO-RAMÍREZ, R.; SOTELO MONTES, C.; UGARTE-GUERRA, L. J.; WEBER, J. C. Efficiency of early selection in *Calycophyllum spruceanum* and *Guazuma crinita*, two fast-growing timber species of the Peruvian Amazon. **Canadian Journal of Forest Research**, v. 48, n. 5, p. 517-523, 2018.
- DAMODARAN, S.; STRADER, L. C. Indole 3-Butyric Acid Metabolism and Transport in *Arabidopsis thaliana*. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, article 851, 2019.

- DIAS, P. C.; ATAÍDE, G. D. M.; XAVIER, A.; OLIVEIRA, L. S. D.; PAIVA, H. N. D. Propagação vegetativa de *Schizolobium amazonicum* por estaquia. **Cerne**, v. 21, n. 3, p. 379-386, 2015.
- DOMINGUES, T. F.; OMETTO, J. P. H. B.; NEPSTAD, D. C.; BRANDO, P. M.; MARTINELLI, L. A.; EHLERINGER, J. R. Ecophysiological plasticity of Amazonian trees to long-term drought. **Oecologia**, v. 187, n. 4, p. 933-940, 2018.
- FATTORINI, L.; RONZAN, M.; PIACENTINI, D.; DELLA ROVERE, F.; DE VIRGILIO, A.; SOFO, A. ALTAMURA, M. M.; FALASCA, G. Cadmium and arsenic affect quiescent centre formation and maintenance in *Arabidopsis thaliana* post-embryonic roots disrupting auxin biosynthesis and transport. **Environmental and Experimental Botany**, v. 144, p. 37-48, 2017.
- FONSECA, E. P.; VALÉRI, S. V.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, N. A. N.; COUTO, L. Padrão de qualidade de mudas de *Trema micranta* (L.) Blume, produzidas sob diferentes períodos de sombreamento. **Revista Árvore**, v. 26, p. 515-523, 2002.
- FONSECA, E.; CRUZ, C. A. Efeito de diferentes níveis de saturação por bases no desenvolvimento e qualidade de mudas de ipê-roxo (*Tabebuia impetiginosa* (Mart.) Standley). **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 2, n. 66, p. 100-107, 2004.
- GATTI, K. C. **Propagação vegetativa de pau mulato (*Calycophyllum spruceanum* (Benth) K. Schum.) jequitibá (*Cariniana estrellensis* (Raddi) Kuntze) e teca (*Tectona grandis* Linn. F.) por miniestaquia**. 2002. 83 f. Tese (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.
- GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação de qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 26, p. 655-664, 2002.
- GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. Viveiros florestais. Viçosa, MG: Editora UFV, 2011. 116 p. (Série Didática).
- GONÇALVES J. L. M.; SANTARELLI, E. G.; MORAES NETO S. P.; MANARA, M. P. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: Gonçalves JLM, Benedetti V. (Eds.) **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: ESALQ/USP; 2000. p. 309-350.
- GUEDES, M. C.; ROSÁRIO, B. C. do; ARAÚJO, B. H. P. de; RODRIGUES, D. de S.; LIRA-GUEDES, A. C. *Calycophyllum spruceanum* Benth. K. Schum. (Rubiaceae). In: PIÑA-RODRIGUES, F. C. M.; SILVA, J. M. S. da (org.). **Silvicultura tropical: o potencial madeireiro e não madeireiro das espécies tropicais**. Sorocaba: Edição dos Autores, 2021. p. 110-129.
- HAASE, D. L. Understanding Forest seedling quality: measurements and interpretation. **Tree Planters' Notes**, v. 52, n. 2, p. 24-30, 2008.
- HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E. **Plant propagation: principles and practices**. 9. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2017.
- LANA, R. M. Q.; LANA, A. M. Q.; BARREIRA, S.; MORAIS, T. R.; FARIA, M. V. Doses do ácido indolbutírico no enraizamento e crescimento de estacas de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*). **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 24, n. 3, p. 13-18, 2008.
- LJUNG, K. Auxin metabolism and homeostasis during plant development. **Development**, Cambridge, v. 140, n. 5, p. 943-950, 2013.
- LUDWIG-MÜLLER, J.; VERTOCNIK, A.; TOWN, C. D. Analysis of indole-3-butyric acid-induced adventitious root formation on *Arabidopsis* stem segments. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 56, n. 418, p. 2095-2105, 2005.
- MORELLATO, L. P. C.; ALBERTON, B.; ALVARADO, S. T.; BORGES, B.; BUISSON, E.; CAMARGO, M. G. G.; CANCIAN, L. F.; CARSTENSEN, D. W.; ESCOBAR, D. F. E.; LEITE, P. T. P.; MENDOZA, I.; ROCHA, N. M. W. B.; SOARES, N. C.; SILVA, T. S. F.; STAGGEMEIER, V. G.; STREHER, A. S.; VARGAS, B. C.; PERES, C. A. Linking plant phenology to conservation biology. **Biological Conservation**, v. 195, p. 60-72, 2016.

- MOURA, L. C.; TITON, M.; MOURA, C. C.; SOUZA, C. C.; SANTANA, R. C. Ácido indolbutírico (AIB) e substratos na propagação vegetativa de Jatobá (*Hymenaea courbaril* L.) por miniestaquia. **Advances in Forestry Science**, v. 6, n. 1, p. 515-522, 2019.
- NERY, F. S. G.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S. Enraizamento de *Psychotria nuda* (Cham.e Schltdl.) Wawra (Rubiaceae) nas quatro estações do ano. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 1, p. 243-250, 2014.
- OLIVEIRA, T. P. F.; BARROSO, D. G.; LAMÔNICA, K. R.; CARVALHO, G. C. M. W. Aplicação de AIB e tipo de miniestacas na produção de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* Mattos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 313–320, 2016.
- PEDROSO, P. M.; MARIANO, V.; KIMURA, M. G.; CHRISTIANINI, A. V. Drought changes fruiting phenology, but does not affect seed predation of a keystone palm. **Flora**, v. 283, art. 151917, 2021.
- PEIXOTO, H.; ROXO, M.; KOOLEN, H.; DA SILVA, F.; SILVA, E.; BRAUN, M. S.; WANG, X.; WINK, M. *Calycophyllum spruceanum* (Benth.), the Amazonian “Tree of Youth” prolongs longevity and enhances stress resistance in *Caenorhabditis elegans*. **Molecules**, v. 23, n. 3, p. 534, 2018.
- PESSANHA, S. E. G. L.; BARROSO, D. G.; BARROS, T. C.; OLIVEIRA, T. P. D. F. D.; CARVALHO, G. C. M. W. D.; CUNHA, M. D. Limitações na produção de vinhático (*Plathymenia reticulata* Benth) por miniestaquia. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 1688-1703, 2018.
- QUAN, J. E.; NI, R.; WANG, Y.; SUN, J.; MA, M.; BI, H. Effects of different growth regulators on the rooting of *Catalpa bignonioides* softwood cuttings. **Life**, v. 12, n. 8, p. 1231, 2022.
- SOUZA, L. S.; GURGEL DIOGENES, F. E.; DOS SANTOS SILVEIRA, G. V.; DA SILVA, C. J.; ARAÚJO, P. C. D. Mini-cutting as a technique to propagate *Tabebuia aurea*, an important tree found in tropical dry forests. **Australian Journal of Crop Science**, v. 17, n. 8, p. 631-638, 2023
- STRADER, L. C.; HENDRICKSON-CULLER, A.; COHEN, J. D.; BARTEL, B. Conversion of endogenous indole-3-butyric acid to indole-3-acetic acid drives cell expansion in *Arabidopsis* seedlings. *Plant Physiology*, **Rockville**, v. 153, n. 4, p. 1577–1586, 2010.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2017. VENCOVSKY, R. Herança quantitativa. In: PATERNIANI, E.; VIEGAS, G. P. (Ed.). *Melhoramento e produção de milho*. Fundação Cargill, 137-214, 1987.
- WENDLING, I.; BROOKS, P.R.; TRUEMAN, S.J. Topophysis in *Corymbia torelliana* × *C. citriodora* seedlings: Adventitious rooting capacity, stem anatomy, and auxin and abscisic acid concentrations. **New forests**, v. 46, n. 1, p. 107-120, 2015.
- XAVIER, A.; SANTOS, G. D.; WENDLING, I.; OLIVEIRA, M. D. Propagação vegetativa de cedro-rosa por miniestaquia. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 139-143, 2003.
- ZULETA, L. M. C.; CAVALHEIRO, A. J.; SILVA, D. H. S.; FURLAN, M.; YOUNG, M. C. M.; ALBUQUERQUE, S.; CASTRO-GAMBOA, I.; BOLZANI, V. S. Seco-iridoids from *Calycophyllum spruceanum* (Rubiaceae). **Phytochemistry**, v. 64, n. 2, p. 549-553, 2003.