

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA FLORESTAL

MINIESTAQUIA DE ESPÉCIES FLORESTAIS AMAZÔNICAS SOB
DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÁCIDO INDOLBUTÍRICO

ANNANDA SOUZA DE CAMPOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

RIO BRANCO-AC, BRASIL
SETEMBRO DE 2025

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA FLORESTAL

MINIESTAQUIA DE ESPÉCIES FLORESTAIS AMAZÔNICAS SOB
DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE ÁCIDO INDOLBUTÍRICO

ANNANDA SOUZA DE CAMPOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal do Acre, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Paulo André Trazzi

RIO BRANCO-AC, BRASIL

SETEMBRO DE 2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO SENSU EM CIÊNCIA FLORESTAL

ATA DE SESSÃO PÚBLICA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE ANNANDA SOUZA DE CAMPOS, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO, STRICTO SENSU, EM CIÊNCIA FLORESTAL, DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE

Às treze horas do dia vinte e três do mês de setembro de 2025, realizou-se, de forma online, por meio da plataforma Google Meet, a Sessão Pública de Defesa de Dissertação, intitulada: **“Miniestaquia de espécies florestais amazônicas sob diferentes concentrações de ácido indolbutírico”**, de autoria da mestranda **Annanda Souza de Campos**, discente do Programa de Pós - graduação em Ciência Florestal, da Universidade Federal do Acre - UFAC, em nível de Mestrado. Na ocasião, a Banca Examinadora esteve constituída pelos membros: **Prof. Dr. Paulo André Trazzi (Presidente - orientador - CCBN - UFAC); Dr. Tiago de Oliveira Godinho - Membro externo - Vale S.A; Dr. Ranieri Ribeiro Paula - Membro externo - Pós-doutorando - Universidade do Quebec em Chicoutimi (UQAC)**. Logo após a exposição oral, houve arguição pelos Examinadores e, ao final da arguição, reaberta a sessão pública, a discente foi considerada **Aprovada** pela Banca Examinadora. E, ao término, foi lavrada a presente Ata, que será assinada pelos avaliadores.

Assinado Eletronicamente

Prof. Dr. Paulo André Trazzi

(Presidente - orientador - CCBN - UFAC)

Assinado Eletronicamente

Dr. Tiago de Oliveira Godinho

(Membro externo - Vale S.A)

Assinado Eletronicamente

Dr. Ranieri Ribeiro Paula

(Membro externo - Pós - doutorando - UQAC)



Documento assinado eletronicamente por **Paulo Andre Trazzi, Professor do Magisterio Superior**, em 17/11/2025, às 08:28, conforme horário de Rio Branco - AC, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Tiago de Oliveira Godinho, Usuário Externo**, em 17/11/2025, às 12:11, conforme horário de Rio Branco - AC, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ranieri Ribeiro Paula, Usuário Externo**, em 19/11/2025, às 14:32, conforme horário de Rio Branco - AC, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade do documento pode ser conferida no site https://sei.ufac.br/sei/valida_documento ou click no link [Verificar Autenticidade](#) informando o código verificador **1897485** e o código CRC **9ADF4B07**.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

- C198m Campos, Annanda Souza de, 2000-
Miniestaquia de espécies florestais amazônicas sob diferentes concentrações de ácido indolbutírico / Annanda Souza de Campos; Orientador: Prof. Dr. Paulo André Trazzi – 2025.
21 f.: il.; 30 cm.
- Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal do Acre, requisito para obtenção do título de Mestre.
1. Propagação vegetativa. 2. Enraizamento. 3. Qualidade de mudas. 4. Reguladores de crescimento. I. Trazzi, Paulo André (orientador). II. Título.

CDD:631.56

Bibliotecário: Marcelino G. M. Monteiro CRB-11º/258.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me permitir realizar conquistas, pela força nos momentos de dificuldade e pela graça que tornou possível cada passo desta trajetória.

À minha família, em especial à minha mãe, pelo amor e apoio incondicional e por carregar comigo um sonho que hoje tenho a honra e o orgulho de concretizar.

À minha irmã, minha maior parceira, confidente e motivadora, que acredita no meu potencial até mais do que eu mesma, e que sempre esteve ao meu lado em cada etapa desta caminhada.

Às minhas estrelas-guia, tia Manu e vovó Peta, que me orientam e impulsionam de outro plano.

Ao meu namorado, pela presença constante, pelo apoio em cada desafio, por trazer calma e sutileza e por me fazer esquecer, ainda que por instantes, o peso dos dias mais difíceis.

Ao meu cunhado Darlan e ao meu sobrinho-pet Ben, ou melhor, Benedito, pelas alegrias simples e pelos banhos de mar que renovaram minhas energias nos momentos mais intensos.

À minha nova família, Dona Margarete, Lucas, Susan e Liz Braguinha, pelos momentos de descontração e pelas risadas genuínas, embaladas pelas canções da Galinha Pintadinha.

À minha amiga mais que especial, Geiciane, pela presença constante, pelos conselhos sinceros e pela amizade que nunca me deixou sentir sozinha.

Aos meus colegas de trabalho, pelo apoio, incentivo e, sobretudo, pela compreensão diante das ausências exigidas por esta etapa.

Ao meu orientador, pelas oportunidades concedidas, pela confiança e por contribuir de forma decisiva para a construção deste caminho.

À minha dedicada equipe de desmonte de experimento, Barbara e Susy, pela cooperação e disponibilidade sempre que precisei.

Aos parceiros Lucas Savian e professor Felipe Coelho, pelas valiosas orientações, pela troca de conhecimentos e pelo apoio que tornou esta jornada mais rica e inspiradora.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e concessão de bolsa, e à Universidade Federal do Acre (UFAC) pela infraestrutura e suporte institucional indispensáveis à realização deste trabalho.

SUMÁRIO

Resumo	1
Abstract.....	2
Introdução	3
Material e Métodos	5
<i>Área de estudo</i>	5
<i>Manejo do minijardim clonal</i>	5
<i>Coleta e enraizamento das miniestacas</i>	7
<i>Análise de dados</i>	9
Resultados.....	10
Discussão	12
Conclusão	16
Referências Bibliográficas.....	16

Miniestaquia de espécies florestais amazônicas sob diferentes concentrações de ácido indolbutírico*

Annanda Souza de Campos

Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 69920-900,

Brasil

Autor para correspondência: annanda.campos@sou.ufac.br

Resumo

A limitação na disponibilidade e viabilidade de sementes com qualidade, compromete a produção de mudas de espécies florestais nativas da Amazônia, afetando diretamente a restauração ecológica e o manejo florestal sustentável. Diante desse cenário, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de diferentes concentrações de ácido indolbutírico (AIB) sobre o enraizamento e o desenvolvimento inicial de miniestacas de *Swietenia macrophylla* King (Meliaceae), *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (Bignoniaceae) e *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. ex K. Schum. (Rubiaceae), com foco na viabilidade da miniestaquia como estratégia para a produção de mudas nativas de qualidade. O experimento foi conduzido em três etapas: miniestufa (60 dias), casa de sombra (60 dias) e rustificação a pleno sol (40 dias), em delineamento em blocos casualizados, com quatro tratamentos, controle (0 mg L⁻¹ de AIB) e concentrações de 2000, 4000 e 8000 mg L⁻¹, com três repetições. Aos 60 dias após o estaqueamento, foram avaliados enraizamento e sobrevivência. Aos 160 dias, avaliaram-se sobrevivência, enraizamento, altura, diâmetro do coleto, comprimento radicular, massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca da raiz (MSR), massa seca total (MST), relação MSPA/MSR, relação altura/diâmetro (H/D) e índice de qualidade de Dickson (IQD). Não foram verificadas diferenças na sobrevivência aos 60 e 160 dias, tampouco no enraizamento inicial (RBT%) aos 60 dias, para nenhuma das espécies avaliadas. Aos 160 dias, contudo, observou-se resposta às doses de AIB, com 4.000 mg L⁻¹ destacando-se como a concentração mais eficiente. Em *Swietenia macrophylla*, essa dose promoveu maior massa seca de raiz (MSR), redução da relação MSPA/MSR e incremento do IQD, enquanto 8.000 mg L⁻¹ não apresentou ganhos adicionais e indicou possível efeito fitotóxico. Em *Handroanthus impetiginosus* e *Calycophyllum spruceanum*, o desempenho obtido em 4.000 mg L⁻¹ foi mantido, porém não ampliado, em 8.000 mg L⁻¹, caracterizando resposta estável entre as doses intermediária e elevada. Nessas espécies, o aumento da MSR foi acompanhado por maior MST (em *H. impetiginosus*) e maior comprimento radicular (CR) (em *C. spruceanum*), além da redução da relação MSPA/MSR e melhora do IQD. Em síntese, 4.000 mg L⁻¹ mostrou-se a dose mais promissora, enquanto 8.000 mg L⁻¹ apresentou efeito espécie-dependente, podendo manter o desempenho ou reduzi-lo.

Palavras-chave: Propagação vegetativa, Enraizamento, Qualidade de mudas, Reguladores de crescimento.

Abstract

Mini-cuttings of Amazonian forest species under different concentrations of indolebutyric acid

The limited availability and physiological quality of seeds compromises the production of seedlings of native Amazonian forest species, directly affecting ecological restoration and sustainable forest management. In this context, the present study aimed to evaluate the effect of different concentrations of indole-3-butyric acid (IBA) on the rooting and early development of mini-cuttings of *Swietenia macrophylla* King (Meliaceae), *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (Bignoniaceae) and *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. ex K. Schum. (Rubiaceae), focusing on the feasibility of mini-cutting as a strategy for producing high-quality native seedlings. The experiment was conducted in three phases—mini-greenhouse (60 days), shade house (60 days) and full-sun hardening (40 days)—under a randomized block design with four treatments: control (0 mg L⁻¹ IBA) and 2,000, 4,000 and 8,000 mg L⁻¹, with three replicates. Rooting and survival were assessed at 60 days after setting. At 160 days, survival, rooting, height, root collar diameter, root length, shoot dry mass (MSPA), root dry mass (MSR), total dry mass (MST), MSPA/MSR ratio, height/diameter ratio (H/D), and Dickson Quality Index (DQI) were evaluated. No differences were detected in survival at 60 or 160 days, nor in initial rooting (RBT%) at 60 days, for any of the species evaluated. At 160 days, however, a response to IBA doses was observed, with 4,000 mg L⁻¹ standing out as the most effective concentration. In *Swietenia macrophylla*, this dose promoted higher root dry mass (MSR), reduced the MSPA/MSR ratio, and increased DQI, whereas 8,000 mg L⁻¹ yielded no additional gains and suggested possible phytotoxic effects. In *Handroanthus impetiginosus* and *Calycophyllum spruceanum*, the performance obtained at 4,000 mg L⁻¹ was maintained, though not improved, at 8,000 mg L⁻¹, characterizing a stable response between intermediate and high doses. In these species, the MSR increase was accompanied by higher MST (in *H. impetiginosus*) and greater root length (CR) (in *C. spruceanum*), in addition to a reduced MSPA/MSR ratio and improved DQI. In summary, 4,000 mg L⁻¹ was the most promising dose, promoting consistent gains in the key morphophysiological variables determining clonal quality, whereas 8,000 mg L⁻¹ exhibited species-dependent effects, potentially maintaining or reducing performance.

Keywords: Vegetative propagation; Rooting; Seedling quality; Growth regulators.

Introdução

A restauração em larga escala requer a produção contínua de mudas nativas com elevada qualidade e uniformidade, capazes de suprir a demanda de projetos ambientais e sistemas produtivos sustentáveis. Esse esforço tem sido impulsionado por compromissos internacionais e nacionais que reconhecem a restauração como estratégia central para a manutenção dos serviços ecossistêmicos, a conservação da biodiversidade e a mitigação das mudanças climáticas (Silva *et al.*, 2017). Entre esses marcos, destacam-se a Década da Restauração de Ecossistemas (2021–2030), promovida pela ONU (UNEP, 2021); o Acordo de Paris, que orienta metas globais de redução de emissões (UNFCCC, 2015); e, no âmbito nacional, o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa – Planaveg (BRASIL, 2017). Apesar desses avanços, a produção de mudas de diversas espécies tropicais ainda é limitada pela baixa disponibilidade de sementes, frequentemente coletadas em populações naturais e insuficientes para atender à crescente demanda (Nevill *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2017).

O emprego de espécies nativas com elevado valor ecológico e econômico representa estratégia fundamental para a recomposição da vegetação e a manutenção da funcionalidade dos ecossistemas. No contexto amazônico, destacam-se *Swietenia macrophylla* King, conhecida como mogno-brasileiro, valorizada pela madeira de alta densidade e durabilidade amplamente empregada na indústria madeireira; *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos, o ipê-roxo, reconhecido pelo uso no paisagismo e na arborização urbana e *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. ex K. Schum., mulateiro, cuja importância se estende à presença de compostos bioativos de interesse medicinal (Guedes *et al.*, 2021; Carvalho, 2003).

Entretanto, a propagação por sementes dessas espécies enfrenta desafios como frutificação irregular, baixa germinabilidade e curta viabilidade (Carvalho, 2003; Carvalho, 2006). No caso de *Swietenia macrophylla*, tais limitações são agravadas pela intensa exploração madeireira, comprometendo suas populações naturais e resultando em sua classificação como vulnerável à extinção, conforme a Portaria MMA nº 148/2022 (BRASIL, 2022) e a Lista Vermelha da IUCN (IUCN, 2023).

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.

Para superar essas barreiras, a miniestaquia, técnica de propagação vegetativa amplamente consolidada em espécies comerciais do gênero *Eucalyptus*, tem sido progressivamente adaptada para espécies florestais nativas. Esta técnica possibilita a clonagem de matrizes selecionadas, a produção contínua de mudas e a redução da dependência em relação à sazonalidade reprodutiva (Carvalho *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2016; Sant’Ana *et al.*, 2023).

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).

Diante das limitações da propagação sexuada e da necessidade de métodos alternativos para a produção de mudas de espécies florestais nativas, formulou-se a hipótese a miniestaquia pode ser uma alternativa para a propagação de *Swietenia macrophylla*, *Handroanthus impetiginosus* e *Calycophyllum spruceanum*, e a aplicação de ácido indolbutírico (AIB) promove ganhos no enraizamento e no desenvolvimento inicial até concentrações intermediárias ($\approx 4.000 \text{ mg L}^{-1}$), enquanto doses mais elevadas podem não agregar benefícios ou inibir atributos morfofisiológicos. À luz dessa hipótese, o objetivo foi avaliar a eficiência da miniestaquia e os efeitos de 0, 2.000, 4.000 e 8.000 mg L^{-1} de AIB sobre sobrevivência, enraizamento e qualidade morfológica das mudas.

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.*, 2013) (Figura 1).

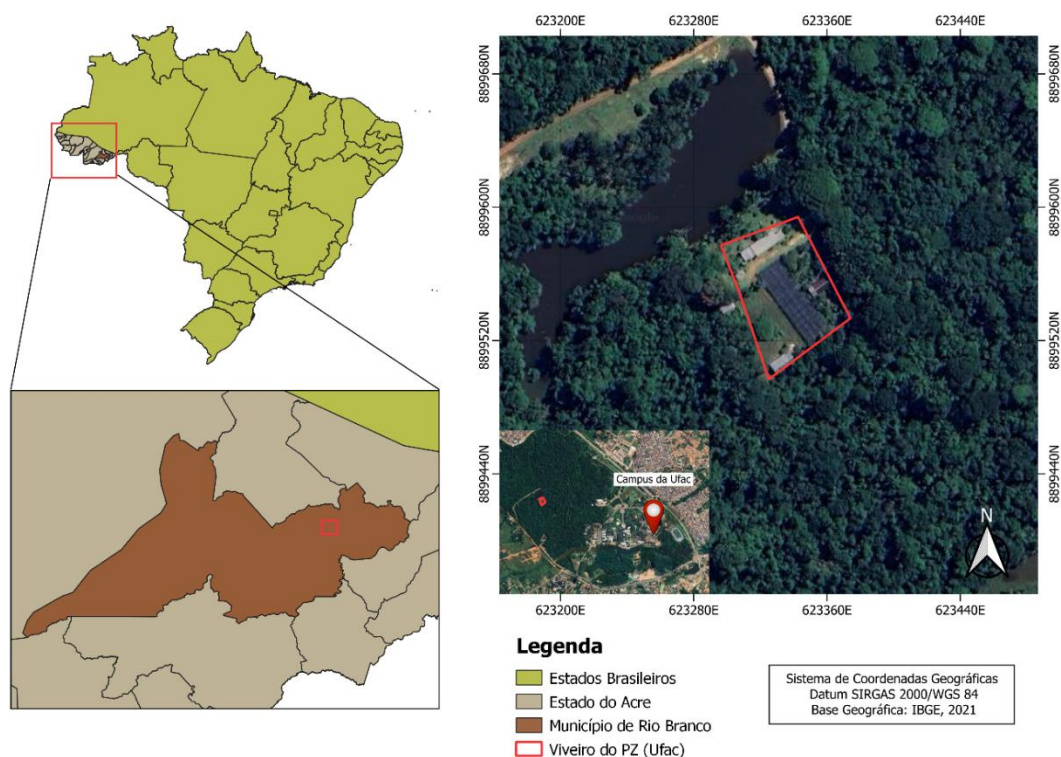


Figura 1. Localização do viveiro do Parque Zoobotânico da Universidade Federal do Acre, Rio Branco, Acre.

Manejo do minijardim clonal

Foram utilizadas três espécies amazônicas de relevância ecológica e comercial: *Swietenia macrophylla* King (Meliaceae), *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (Bignoniaceae) e *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. ex K. Schum. (Rubiaceae). As mudas de *S. macrophylla* foram obtidas no viveiro do Parque Zoobotânico da UFAC; as de *C. spruceanum*, no Viveiro da Floresta, pertencente à Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Acre (SEMA-AC); e as de *H. impetiginosus* foram produzidas a partir de sementes coletadas no Projeto de Assentamento Benfica (PA Benfica), localizado na zona rural do município de Rio Branco, Acre.

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 2).

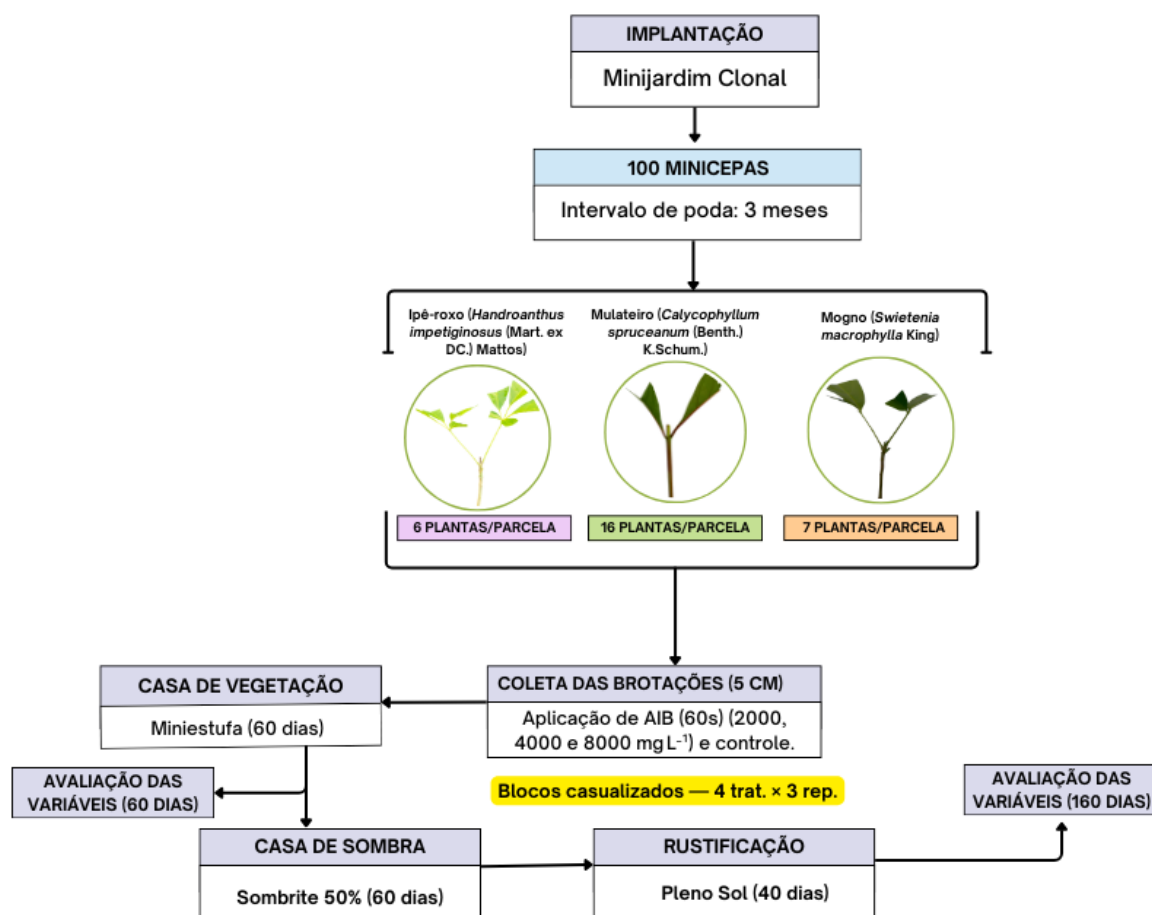


Figura 2. Fluxograma do experimento de produção de mudas via miniestaquia, contemplando a aplicação de ácido indolbutírico (AIB) e avaliações aos 60 e 160 dias após o estaqueamento para *Swietenia macrophylla*, *Handroanthus impetiginosus* e *Calycophyllum spruceanum*. Fonte: Elaborado pela autora, 2025.

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, conforme Figura 3.

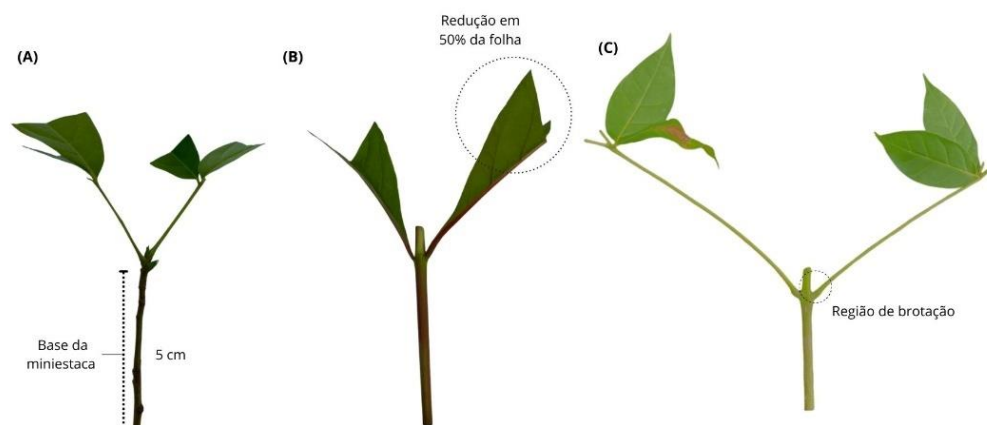


Figura 3. Preparação das miniestacas das três espécies florestais amazônicas: (A) *Swietenia macrophylla* King (mogno), com comprimento padronizado em 5 cm a partir da base; (B) *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. ex K. Schum. (mulateiro), com redução de 50% da área foliar; (C) *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (ipê-roxo), evidenciando a região de brotação.

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 7 miniestacas por parcela para *S. macrophylla*, 6 para *H. impetiginosus* e 16 para *C. spruceanum*.

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

A sobrevivência (%) das miniestacas avaliadas aos 60 e 160 dias após o estaqueamento não diferiu entre as concentrações de AIB para nenhuma das espécies estudadas. O enraizamento aos 60 dias, determinado pela presença de raízes visíveis na base do tubete (RBT, %), também não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos.

As respostas das espécies ao AIB quanto ao crescimento inicial e à alocação de biomassa aos 160 dias estão apresentadas na Tabela 1. Em *Swietenia macrophylla*, observaram-se diferenças significativas para a massa seca da raiz (MSR), a relação MSPA/MSR e o índice de qualidade de Dickson (IQD) ($p < 0,05$). A concentração de 4.000 mg L⁻¹ apresentou maior MSR, além de redução da relação MSPA/MSR e aumento do IQD, indicando maior alocação de biomassa ao sistema radicular e melhor equilíbrio morfológico. As demais variáveis, altura, diâmetro do coleto (DC), comprimento de raiz (CR), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca total (MST) e razão H/D — não diferiram estatisticamente entre os tratamentos.

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

<i>Swietenia macrophylla</i>									
AIB (mg L ⁻¹)	Altura (cm)	DC (mm)	CR (cm)	MSPA (g/planta)	MSR (g/planta)	MST (g/planta)	MSPA/MSR	H/D	IQD
0	13,74	5,85	12,81	1,63	0,56 b	2,19	2,91 ab	2,19	0,43 b
2.000	12,68	5,46	11,32	1,81	0,54 b	2,35	3,36 a	2,43	0,41 b
4.000	12,52	5,06	11,06	1,93	0,78 a	2,71	2,49 b	2,60	0,53 a
8.000	13,12	4,57	13,44	1,50	0,58 b	2,08	2,61 ab	2,94	0,38 b
CV (%)	5,86	15,71	33,03	10,96	10,45	10,02	9,58	20,57	7,46
<i>Handroanthus impetiginosus</i>									
AIB (mg L ⁻¹)	Altura (cm)	DC (mm)	CR (cm)	MSPA (g/planta)	MSR (g/planta)	MST (g/planta)	MSPA/MSR	H/D	IQD
0	10,31 b	5,51	12,85	0,93	0,39 b	1,33 ab	2,39	1,89	0,31 b
2.000	14,87 a	5,67	12,47	0,83	0,39 b	1,22 b	2,22	2,61	0,25 b
4.000	11,54 ab	5,40	13,93	1,14	0,62 a	1,76 a	1,82	2,14	0,44 a
8.000	10,04 b	4,94	13,81	0,80	0,485 ab	1,28 ab	1,64	2,00	0,35 ab
CV (%)	12,57	7,25	14,70	17,83	9,99	13,43	9,24	13,75	13,66
<i>Calycophyllum spruceanum</i>									
AIB (mg L ⁻¹)	Altura (cm)	DC (mm)	CR (cm)	MSPA (g/planta)	MSR (g/planta)	MST (g/planta)	MSPA/MSR	H/D	IQD
0	18,98	4,81	18,58 ab	1,20	0,48 b	1,69	2,45 a	3,92 a	0,26 b
2.000	18,29	4,60	18,53 ab	1,07	0,52 ab	1,59	2,04 ab	3,98 a	0,26 b

4.000	14,83	5,45	20,46 a	1,04	0,70 a	1,75	1,49 bc	2,69 b	0,42 a
8.000	13,79	4,55	15,95 b	0,81	0,70 a	1,52	1,16 c	3,03 b	0,36 ab
CV (%)	13,15	8,57	6,96	16,14	12,91	12,68	14,79	8,2	12,37

DC = diâmetro do coleto; comprimento de raiz (CR); MSPA = massa seca da parte aérea; MSR = massa seca da raiz; MST = massa seca total; MSPA/MSR = relação entre massa seca da parte aérea e da raiz; H/D = relação altura/diâmetro do coleto; IQD = índice de qualidade de Dickson. Médias seguidas por diferentes letras na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância; médias sem letras indicam ausência de diferença significativa.

Para *Handroanthus impetiginosus*, o AIB influenciou significativamente a altura da parte aérea, a massa seca da raiz, a massa seca total e o índice de qualidade de Dickson aos 160 dias após o estaqueamento ($p < 0,05$). A concentração de 2.000 mg L⁻¹ apresentou a maior média de altura, estatisticamente igual ao tratamento com 4.000 mg L⁻¹. As variáveis massa seca da raiz, massa seca total e índice de qualidade de Dickson apresentaram comportamento semelhante, com os maiores valores registrados sob 4.000 mg L⁻¹, estatisticamente iguais ao tratamento 8.000 mg L⁻¹. As demais variáveis — diâmetro do coleto, comprimento de raiz, massa seca da parte aérea, relação entre altura e diâmetro do coleto e relação entre massa seca da parte aérea e massa seca da raiz — não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 1).

Em *Calycophyllum spruceanum*, foram verificadas diferenças significativas ($p < 0,05$) para o comprimento da raiz (CR), a massa seca da raiz (MSR), a relação entre a massa seca da parte aérea e a massa seca da raiz (MSPA/MSR), a razão entre a altura e o diâmetro do coleto (H/D) e o índice de qualidade de Dickson (IQD). Os maiores valores de CR foram observados nos tratamentos com 0, 2.000 e 4.000 mg L⁻¹, enquanto a MSR apresentou incremento a partir de 2.000 mg L⁻¹, mantendo-se elevada nas concentrações de 4.000 e 8.000 mg L⁻¹. O IQD também foi superior em 4.000 mg L⁻¹, estatisticamente igual ao tratamento de 8.000 mg L⁻¹. Houve redução significativa da relação MSPA/MSR e da razão H/D com o aumento das doses de AIB, indicando maior alocação de biomassa no sistema radicular e melhor equilíbrio morfológico das mudas. As variáveis altura da parte aérea (H), diâmetro do coleto (DC), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca total (MST) não apresentaram diferenças significativas (Tabela 1). Esse comportamento é ilustrado na Figura 4, que mostra a morfologia das miniestacas sob as diferentes doses de AIB.



Figura 4. Miniestacas de *Calycophyllum spruceanum* (mulateiro) submetidas ao tratamento controle (0 mg L^{-1} de AIB) e a três concentrações do regulador (2000 , 4000 e 8000 mg L^{-1}).

Discussão

A sobrevivência das miniestacas aos 60 e 160 dias, assim como o enraizamento inicial (RBT%), não foi influenciada pela aplicação de AIB em *Swietenia macrophylla*, *Handroanthus impetiginosus* e *Calycophyllum spruceanum*. Tal resposta indica que a formação inicial de raízes depende majoritariamente da capacidade fisiológica intrínseca dos propágulos, sustentada pela juvenilidade e por níveis endógenos adequados de auxina para iniciar a rizogênese. Esse comportamento já foi reportado para diferentes táxons arbóreos tropicais, incluindo Meliaceae, Bignoniaceae e Rubiaceae (Azad e Matin, 2015; Oliveira *et al.*, 2016; Gatti, 2002), e está alinhado ao caráter pró-auxínico do AIB, cuja conversão lenta a AIA tende a manifestar efeitos mais pronunciados nas fases subsequentes do desenvolvimento radicular (Ludwig-Müller, 2005; Strader *et al.*, 2010).

Entre os atributos da parte aérea, somente *H. impetiginosus* respondeu ao regulador, com incremento em altura sob concentrações intermediárias. Esse efeito pode estar associado tanto à conversão do AIB em ácido indol-3-acético (IAA) via β -oxidação peroxissomal, quanto à ação indireta decorrente do estímulo ao desenvolvimento radicular e ao consequente aumento da absorção de água e nutrientes (Strader *et al.*, 2010; Strader e Bartel, 2011; Fattorini *et al.*, 2017). A magnitude desse efeito, no entanto, depende da capacidade de conversão do regulador em IAA, do balanço hormonal e da concentração aplicada, sendo que doses adequadas estimulam alongação, enquanto excessos podem provocar desbalanços e inibir o crescimento caulinar (Fattorini *et al.*, 2017; Taiz e Zeiger, 2017). Em *S. macrophylla* e *C. spruceanum*, a ausência de resposta sugere menor

sensibilidade ao estímulo auxínico ou priorização da alocação de assimilados ao compartimento radicular, o que confirma a variabilidade interespecífica documentada para espécies tropicais (Gatti, 2002; Souza *et al.*, 2023).

É importante destacar, entretanto, que a altura isoladamente não constitui um bom indicador da qualidade de mudas. Como ressaltam Fonseca *et al.* (2002), o uso exclusivo dessa variável pode levar à seleção de mudas excessivamente alongadas e frágeis, em detrimento de indivíduos mais baixos, porém robustos e vigorosos. 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).

Paralelamente, o diâmetro do coleto permaneceu inalterado nas três espécies, coerente com evidências de que o espessamento caulinar é mais fortemente regulado por citocininas e giberelinas do que por auxinas aplicadas exogenamente (Taiz e Zeiger, 2017), comportamento já observado em outras nativas propagadas via miniestaquia (Oliveira *et al.*, 2016; Moura *et al.*, 2019). Ainda assim, todas as médias permaneceram no intervalo de 5 a 10 mm, considerado ideal para a produção de mudas de qualidade (Gonçalves *et al.*, 2003), e foram superiores aos 2 a 4 mm relatados por Xavier *et al.* (2003) em *C. fissilis*, espécie nativa amazônica também propagada por miniestaquia.

O comprimento da raiz mostrou sensibilidade moderada ao AIB apenas em *C. spruceanum*. Embora os tratamentos 0, 2.000 e 4.000 mg L⁻¹ tenham sido estatisticamente semelhantes, a maior média observada em 4.000 mg L⁻¹ indica favorecimento fisiológico dessa concentração para expansão do eixo radicular principal. Esse padrão pode estar associado à liberação de expansinas e ao aumento da plasticidade da parede celular em regiões de alongamento, estimulados por níveis moderados de auxina (Taiz e Zeiger, 2017; Fattorini *et al.*, 2017).

Esse comportamento 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 do comprimento sob 8.000 mg L⁻¹, embora modesta, pode refletir o início de respostas inibitórias ao excesso de auxina, como aumento de etileno, limitação da divisão celular ou maior redirecionamento metabólico para a formação de raízes laterais, comportamento já descrito sob doses elevadas de AIB (Ludwig-Müller, 2005). A ausência de resposta em *S. macrophylla* e *H. impetiginosus* sugere que o desenvolvimento radicular nestas espécies se dá mais pelo

incremento em massa e ramificação do que pela alongação do eixo principal, possivelmente refletindo diferenças na arquitetura genética e na sensibilidade tecidual à auxina.

A massa seca da parte aérea não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos nas três espécies avaliadas, indicando que o acúmulo de biomassa foliar esteve pouco associado ao fornecimento exógeno de AIB e mais condicionado à capacidade fotossintética e ao balanço fonte-dreno. Em *C. spruceanum*, contudo, observou-se tendência de redução da MSPA em concentrações mais elevadas, especialmente em 8.000 mg L⁻¹, o que sugere possível efeito inibitório do excesso de auxina sobre o crescimento caulinar. Esse comportamento pode estar associado ao desbalanço hormonal provocado por doses supraótimas, que podem desencadear inibição da divisão e da alongação celulares, aumento da produção de etileno e redução da atividade de citocinina, mecanismos que limitam o crescimento da parte aérea. Respostas semelhantes foram descritas por Taiz e Zeiger (2017) e por Lana *et al.* (2008) em *Eucalyptus urophylla*, evidenciando que níveis elevados de AIB podem restringir o desenvolvimento vegetativo em alguns táxons.

A massa seca da raiz foi a variável mais responsiva à aplicação de AIB nas três espécies avaliadas. Em *Swietenia macrophylla*, o maior acúmulo ocorreu sob 4.000 mg L⁻¹, enquanto em *Handroanthus impetiginosus* e *Calycophyllum spruceanum* o desempenho máximo observado nessa concentração foi mantido mesmo em 8.000 mg L⁻¹, indicando tolerância relativa a doses mais elevadas do regulador. Essa resposta está alinhada à atuação das auxinas na diferenciação e proliferação de raízes adventícias e laterais, mecanismo descrito como determinante para o desenvolvimento radicular em espécies lenhosas propagadas vegetativamente (Hartmann *et al.*, 2017; Fattorini *et al.*, 2017).

Resultados semelhantes têm sido reportados para diferentes espécies arbóreas tropicais propagadas por miniestaquia, para as quais doses intermediárias de AIB se mostram mais eficientes na promoção do desenvolvimento radicular. Em *Khaya grandifoliola* (mogno-africano), por exemplo, entre as concentrações avaliadas (0, 500, 1.000 e 2.000 mg L⁻¹), o maior acúmulo de massa seca de raiz ocorreu sob 1.000 mg L⁻¹ (Azevedo *et al.*, 2021). Padrão convergente foi observado por Souza *et al.* (2023) em *Tabebuia aurea* (ipê-amarelo), espécie que apresentou melhor desempenho em sobrevivência, enraizamento e crescimento radicular na mesma faixa intermediária. De forma semelhante, *Plathymenia reticulata* (vinhático) alcançou seu maior valor radicular sob concentrações próximas — entre 3.500 e 4.200 mg L⁻¹ (Pessanha *et al.*, 2018).

A relação massa seca da parte aérea/massa seca da raiz (MSPA/MSR) expressa o balanço funcional entre copa e sistema radicular, sendo considerada ideal quando inferior a

2,0, por refletir maior robustez e capacidade de absorção hídrica e nutricional após o transplântio (Gomes e Paiva, 2011). A redução dessa relação em *Swietenia macrophylla* e *Calycophyllum spruceanum* confirma o redirecionamento de assimilados para o sistema radicular, resultando em mudas morfológicamente mais equilibradas e fisiologicamente aptas ao estabelecimento em campo.

Relações inferiores a 2,0, semelhantes às observadas neste estudo, foram também descritas por Avelino *et al.* (2021) para *Calophyllum brasiliense* (jacaréúba) e *Inga laurina* (ingá), reforçando a consistência desse parâmetro como indicador de qualidade em espécies tropicais. Em *Handroanthus impetiginosus*, embora tenha sido identificada tendência semelhante, as diferenças não foram significativas, evidenciando particularidades interespecíficas no particionamento de biomassa entre parte aérea e raízes.

A razão H/D manteve-se estável em *Swietenia macrophylla* e *Handroanthus impetiginosus*, indicando equilíbrio morfológico entre altura e espessura do caule. Em *Calycophyllum spruceanum*, entretanto, observou-se redução dessa relação sob concentrações mais elevadas de AIB, refletindo maior robustez estrutural. De forma comparativa, os valores obtidos para o mulateiro superaram aqueles registrados por Fonseca e Cruz (2004) para *Tabebuia impetiginosa* produzida por sementes em viveiro, evidenciando o potencial da miniestaquia para gerar mudas estruturalmente mais 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). O índice de qualidade de Dickson elevou-se sob 4.000 mg L⁻¹ em *Swietenia macrophylla* e entre 4.000–8.000 mg L⁻¹ em *Handroanthus impetiginosus* e *Calycophyllum spruceanum*, refletindo ganhos estruturais integrados em resposta ao AIB. Esses resultados reforçam que o regulador contribuiu para a formação de mudas mais equilibradas, com maior desenvolvimento do sistema radicular e melhor conformação morfológica. Os valores observados neste estudo superaram os relatados para *Hymenaea courbaril* (Moura *et al.*, 2019) e *Cordia trichotoma* (Avinio *et al.*, 2022), evidenciando o bom desempenho obtido via miniestaquia. De forma integrada, a análise de biomassa, proporções morfológicas e IQD demonstra que a miniestaquia associada a doses intermediárias de AIB é uma alternativa eficiente para a produção clonal de espécies tropicais, favorecendo maior equilíbrio estrutural e qualidade das mudas.

Conclusão

A aplicação de AIB não alterou a sobrevivência nem o enraizamento inicial das miniestacas das três espécies avaliadas. Entretanto, aos 160 dias, observaram-se ganhos consistentes no desenvolvimento radicular e na qualidade morfológica, sobretudo em 4.000 mg L⁻¹. Em *Swietenia macrophylla*, esta concentração resultou no melhor desempenho, enquanto 8.000 mg L⁻¹ não ampliou os resultados e sugeriu possíveis efeitos fitotóxicos. Para *Handroanthus impetiginosus* e *Calycophyllum spruceanum*, os maiores valores também foram registrados em 4.000 mg L⁻¹, com manutenção, porém sem incremento, em 8.000 mg L⁻¹, refletindo maior acúmulo de massa seca de raiz, melhor equilíbrio biométrico e maiores índices de qualidade (IQD).

Referências Bibliográficas

- ARAÚJO, E. F.; GIBSON, E. L.; SANTOS, A. R.; GONÇALVES, E. O.; WENDLING, I. ALEXANDRE, R. S.; POLA, L. A. V. Mini-cutting technique for vegetative propagation of *Paratecoma peroba*. **CERNE**, v. 25, n. 3, p.314-325, 2019.
- 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.
- AZEVEDO, M. L. D.; TITON, M.; MACHADO, E. L. M.; ASSIS, S. L. D.; FREITAS, E. C. S. D. Influência do ácido indolbutírico no enraizamento de miniestacas caulinar e foliar de mogno-africano (*Khaya grandifoliola* C. DC.). **Ciência Florestal**, v. 31, n. 2, p. 898-919, 2021.
- 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.
- BARROSO, D. G.; OLIVEIRA, T. P. D. F. D.; SIQUEIRA, D. P.; LAMÔNICA, K. R.; CARVALHO, G. C. M. W. D. Mini-stumps productivity and rooting of *Khaya ivorensis* A. Chev mini-cuttings treated with IBA. **Cerne**, v. 24, n. 2, p. 114-120, 2018.
- BINOTTO, A. F.; LÚCIO, A. D. C.; LOPES, S. J. Correlations between growth variables and the Dickson quality index in forest seedlings. **Cerne**, v. 16, p. 457-464, 2010.

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. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa – Planaveg**. Brasília, DF: MMA, 2017.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Portaria MMA nº 148, de 7 de junho de 2022**. Diário Oficial da União, Brasília, 2022.

BRASIL. **Instruções para análise de sementes de espécies florestais**. 1ª Ed. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2013. 97. p.

BRONDANI, G. E.; WENDLING, I.; GROSSI, F.; DUTRA, L. F.; ARAUJO, M. A. Miniestaquia de *Eucalyptus benthamii* × *Eucalyptus dunnii*: sobrevivência e enraizamento de miniestacas em função das coletas e estações do ano. **Ciência Florestal**, 20(3), 453-465, 2010.

CARNEIRO, J. G. de A. **Produção e controle de qualidade de mudas florestais**. Curitiba: UFPR/FUPEF, 1995. 451 p.

CARVALHO, A.; NEVES, A. H. B.; TRONCO, K. M. Q. Vegetative propagation of amazonian forest species. **Brazilian Journal Of Development**, v. 6, n. 10, p.83417-83430, 2020.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, p. 689–696, 2006.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, v. 1, p. 557-564, 2003.

CNC FLORA. **Centro Nacional de Conservação da Flora**. Lista Vermelha da Flora Brasileira. Rio de Janeiro: CNC Flora/JBRJ, 2012. Disponível em: <https://cncflora.jbrj.gov.br/portal/pt-br/listavermelha>. Acesso em: 04 jun. 2025

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.

DUARTE, M. V.; LANDGRAF, P. R. C.; DA SILVA, A. B.; MANTOVANI, J. R. Indolebutyric acid and light quality in the rooting of african mahogany minicuttings. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e50611528445-e50611528445, 2022.

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.

GROSSNICKLE, S. C. Why seedlings survive: influence of plant attributes. **New Forests**, Basileia, v. 43, n. 5/6, p. 711-738, 2012.

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.

HUSEN, A. Clonal propagation of *Dalbergia sissoo* Roxb. and associated metabolic changes during adventitious root primordium development. **New Forests**, v. 36, p. 13-27, 2008

IUCN – The International Union for Conservation of Nature. **The IUCN Red List of Threatened Species**. Version accessed 2023. Gland: IUCN, 2023.

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.

NEVILL, P. G.; CROSS, A. T.; DIXON, K. W. Ethical seed sourcing is a key issue in meeting global restoration targets. **Current Biology**, v. 28, n. 24, p. R1378-R1379, 2018.

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.

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.

SANT'ANA, B. T.; BERUDE, M. C.; FELETTI, T. A.; CALDEIRA, M. V. W.; GONÇALVES, E. O. Produtividade de minicepas e enraizamento de miniestacas de sapucaia (*Lecythis lanceolata*). **Pesquisa Florestal Brasileira**, [S. l.], v. 43, 2023

SILVA, A. P. M.; SCHWEIZER, D.; MARQUES, H. R.; TEIXEIRA, A. M. C.; DOS SANTOS, T. V. M. N.; SAMBUICHI, R. H. R.; BADARI, C. G.; GAUDARE, U.; BRANCALION, P. H. S. Can current native tree seedling production and infrastructure meet an increasing forest restoration demand in Brazil? **Restoration Ecology**, v. 25, n. 4, p. 509–515, 2017.

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.; BARTEL, B. Transport and metabolism of the endogenous auxin precursor indole-3-butyric acid. **Molecular plant**, v. 4, n. 3, p. 477-486, 2011.

STRADER, L. C.; CHEN, G. L.; BARTEL, B. Ethylene directs auxin to control root cell expansion. **The Plant Journal**, v. 64, n. 5, p. 874-884, 2010.

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.

TORRES, V.G. V.; GAONA, N.; ORDOÑEZ, L.; GARCÍA, P.; MENDOZA, W.; SAAVEDRA, J.; MACEDO W.; REÁTEGUI, K.; BASELLY, JR.; MARÍN, C. Cutting propagation technique of mahogany (*Swietenia macrophylla*) in microtunnels from the Peruvian Amazon. **Bosque**, v. 45, n. 3, p. 485-495, 2024.

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change. **The Paris Agreement**. Paris: UNFCCC, 2015.

UNEP – United Nations Environment Programme. **United Nations Decade on Ecosystem Restoration 2021–2030**. Nairobi: UNEP, 2021.

VENCOVSKY, R. Tamanho efetivo populacional na coleta e preservação de germoplasma de espécies alógamas. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, SP, nº 35, p.79-84, 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.

WENDLING, I.; FERRARI, M. P.; DUTRA, L. F. Produção de mudas de corticeira-do-mato por miniestaquia a partir de propágulos juvenis. **Comunicado técnico**, Colombo, n.130, p. 1-5, out. 2005.

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.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. da. **Silvicultura Clonal** - Princípios e Técnicas. 3. ed. Viçosa: Editora UFV, 2021.