

Efeito do uso de biorreguladores na estaquia caular de *Casearia sylvestris* (Swartz) Effect of bioregulators on the propagation of *Casearia sylvestris* (Swartz) by cuttings

Izabelle Graziellen Alves Rossi¹  | Jailson Vieira Gomes¹  | Daniel Baron¹ 

¹Universidade Federal de São Carlos. *Campus* Lagoa do Sino. Buri, São Paulo, Brasil

Resumo: A propagação vegetativa via estaquia tem ganhado destaque na produção de espécies nativas de interesse conservacionista, e o aprimoramento desse método de propagação constitui um campo de estudo importante para aumentar a eficiência e a qualidade das plantas produzidas. Nesse contexto, com base na hipótese de nulidade, investigamos se o enraizamento de estacas caulinares da espécie *Casearia sylvestris* (Swartz) (guaçatonga) seria influenciado pela aplicação de biorreguladores. O objetivo do estudo foi avaliar a influência dos biorreguladores ácido giberélico (0,05 g.L⁻¹), ácido indolbutírico (0,05 g.L⁻¹) e cinetina (0,09 g.L⁻¹) na estaquia caular da espécie *C. sylvestris*. Foram coletadas estacas de guaçatonga, submetidas a três tratamentos, correspondentes às doses de 0,0, 2,5 e 5,0 mL.L⁻¹ do biorregulador Stimulate®, conduzidos experimentalmente em delineamento em blocos casualizados. O experimento foi constituído por três blocos, em que cada tratamento foi composto por três repetições, com quatro estacas por repetição (unidade experimental), totalizando 12 estacas por tratamento e 36 estacas experimentais. Os resultados obtidos não evidenciaram efeito dos biorreguladores sobre o enraizamento de estacas de *Casearia sylvestris* (Swartz). Além disso, as condições testadas revelaram limitações no desenvolvimento radicular, o que sugere a necessidade de aprimoramento das técnicas experimentais focadas em plantas nativas.

Palavras-chave: Crescimento vegetal. Espécie nativa. Hormônios vegetais. Propagação vegetativa. Salicaceae.

Abstract: Plant propagation via stem cuttings has emerged as a key strategy for the production of native species of conservation interest. In this context, improving propagation techniques has become an important research focus to enhance both efficiency and plant quality. Thus, this study tested the null hypothesis that rooting of cuttings is not promoted by bioregulators regulatory molecules during stem cutting propagation of *Casearia sylvestris* (Swartz) (guaçatonga). The objective was to evaluate the effects of the bioregulators gibberellic acid (0.05 g.L⁻¹), indole-3-butyric acid (0.05 g.L⁻¹), and kinetin (0.09 g.L⁻¹) on stem cuttings of *C. sylvestris*. Cuttings were collected and subjected to treatments consisting of 0.0, 2.5, and 5.0 mL.L⁻¹ of the commercial bioregulator Stimulate®, using a randomized complete block design (RCBD) with four blocks, three treatments, and four replicates. Each replicate comprised four cuttings, totaling 12 cuttings per treatment and 36 experimental units overall. The results supported the null hypothesis, indicating that bioregulators did not enhance rooting in *C. sylvestris* cuttings. Additionally, the experimental conditions revealed limitations in root development, highlighting the need for further refinement of propagation techniques for native plant species.

Keywords: Plant growth. Native species. Plant hormones. Plant propagation. Salicaceae.

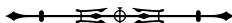
Rossi, I. G. A., Gomes, J. V., & Baron, D. (2026). Efeito do uso de biorreguladores na estaquia caular de *Casearia sylvestris* (Swartz). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*, 21(2), e2026-1037. <http://doi.org/10.46357/bcnaturais.v21i2.1037>

Autor para correspondência: Daniel Baron. Rodovia Lauri Simões de Barros, km 12, SP-189, Araçáçu. Buri, SP, Brasil. CEP 18290-000 (danielbaron@ufscar.br).

Recebido em 16/10/2024

Aprovado em 23/04/2026

Responsabilidade editorial: Ana Carla Feio



INTRODUÇÃO

A dificuldade de obtenção de mudas de espécies nativas, devido às limitações na propagação seminal, impulsionou a adoção de metodologias suplementares de propagação vegetativa. Entre as técnicas de propagação rotineiramente investigadas, a estaquia é amplamente empregada na produção de espécies florestais. Essa técnica tem ganhado espaço em razão de seu custo relativo baixo e de sua simplicidade de execução (Foladori-Invernizzi et al., 2021).

A propagação via estaquia consiste na utilização de tecido vegetal proveniente de uma planta matriz (doadora), potencialmente qualificada para regenerar plenamente um indivíduo geneticamente idêntico à planta doadora. Essa técnica depende de diferentes fatores, endógenos (por exemplo, idade da planta matriz, seu estado nutricional e sua genética) e exógenos (por exemplo, temperatura, umidade, luz, patógenos e aplicação de bioestimulantes), os quais asseguram o êxito do enraizamento e a sobrevivência das estacas (Kettenhuber et al., 2019). A maturidade do material e a época do ano são alguns dos fatores que afetam as condições fisiológicas da planta matriz e, conseqüentemente, o sucesso da propagação via estaquia. Paralelamente a isso, o uso de produtos indutores, tais como enraizadores, fitorreguladores e bioestimulantes, tem se tornado cada vez mais frequente para que sejam promovidas condições favoráveis ao enraizamento de estacas (Hartmann & Kester, 2017).

Naturalmente, as plantas produzem seis classes de fitohormônios promotores do crescimento e do desenvolvimento vegetal, a saber: auxinas (AX), giberelinas (GA), citocininas (CK), etileno (ET), ácido abscísico (ABA) e brassinosteroides (BR). Entre esses fitohormônios, os três primeiros destacam-se pela sua atuação direta no desenvolvimento vegetal. Por exemplo, a AX regula o crescimento das plantas, promove a formação de raízes e o desenvolvimento de frutos; a CK atua na divisão celular e é responsável pela diferenciação celular e pelo brotamento de gemas; e, por fim, a GA atua diretamente

no alongamento e na divisão celular (Pires et al., 2020; Oliveira et al., 2020; Puscan et al., 2024).

Esses mesmos fitohormônios podem ser aplicados de forma exógena, como biorreguladores, exercendo ações similares às dos fitohormônios endógenos. Essas moléculas exógenas desempenham papel direto no metabolismo do material propagado e são amplamente utilizadas, em larga escala, na estaquia de cultivares frutíferos de interesse comercial. Quando aplicados externamente e em baixas concentrações, esses compostos são capazes de inibir, estimular ou alterar processos morfofisiológicos nas plantas (Dantas & Fagundes, 2024; Rocha et al., 2022). Entre os biorreguladores amplamente difundidos no desenvolvimento vegetativo, destaca-se o produto comercial Stimulate® (Stoller do Brasil). Composto por 0,005% de ácido indolbutírico (AIB), 0,005% de giberelina (GA) e 0,009% de cinetina (CK), esse biorregulador apresenta, de acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), classificação toxicológica improvável de causar danos agudos e pouco perigoso ao meio ambiente, além de ser recomendado para plantas arbóreas cultivadas (ADAPAR, 2025).

Entre as espécies arbóreas, *Casearia sylvestris* (Swartz), conhecida popularmente como guaçatonga, é indicada para reflorestamento (De Lima et al., 2021). A espécie pertence à família botânica Salicaceae e é amplamente estudada por suas propriedades medicinais, bem como pelas ações hemostática, anestesiante, cicatrizante, diurética e diaforética (De Lima et al., 2021). No entanto, são raros os estudos direcionados à propagação vegetativa dela (Castro et al., 2021; Capobiango et al., 2009). Entre os poucos trabalhos que investigaram a propagação de *C. sylvestris* via estaquia, Spandre et al. (2012) relataram relativa dificuldade no enraizamento da espécie. Espécies lenhosas consideradas recalcitrantes, frequentemente, apresentam baixa capacidade de formação de raízes adventícias, mesmo quando submetidas à aplicação de auxinas sintéticas convencionais. Evidências recentes indicam que a duração e a dinâmica da sinalização auxínica

desempenham papel central na indução do enraizamento, de modo que sinais hormonais curtos ou insuficientes podem limitar a rizogênese, especialmente em espécies de difícil propagação, ressaltando o potencial de estratégias baseadas em auxinas de liberação lenta para superar essas limitações (Roth et al., 2024). Assim, avaliar a ação de bioestimulantes no desenvolvimento vegetativo tem relevante importância.

Diante das questões relatadas e dos desafios inerentes ao estudo de plantas nativas, investigamos os efeitos fisiológicos promovidos por moléculas reguladoras na estaquia caular da espécie *C. sylvestris*, com vistas a contribuir para a produção de mudas destinadas à restauração florestal.

MATERIAL E MÉTODOS

ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida em cultivo protegido, localizado em área experimental pertencente à Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), *campus* Lagoa do Sino, Buri, estado de São Paulo (coordenadas geográficas: 23° 35' 52" S, 48° 31' 48" W; e altitude de 660 m). O município de Buri apresenta clima quente e temperado, com temperatura média anual de 19,9 °C e pluviosidade de 1.184 mm. A região constitui um ecótono entre os biomas Cerrado e Mata Atlântica, configurando-se como uma zona de transição, de modo que a fauna e a flora locais apresentam características de ambos os biomas (Figura 1).

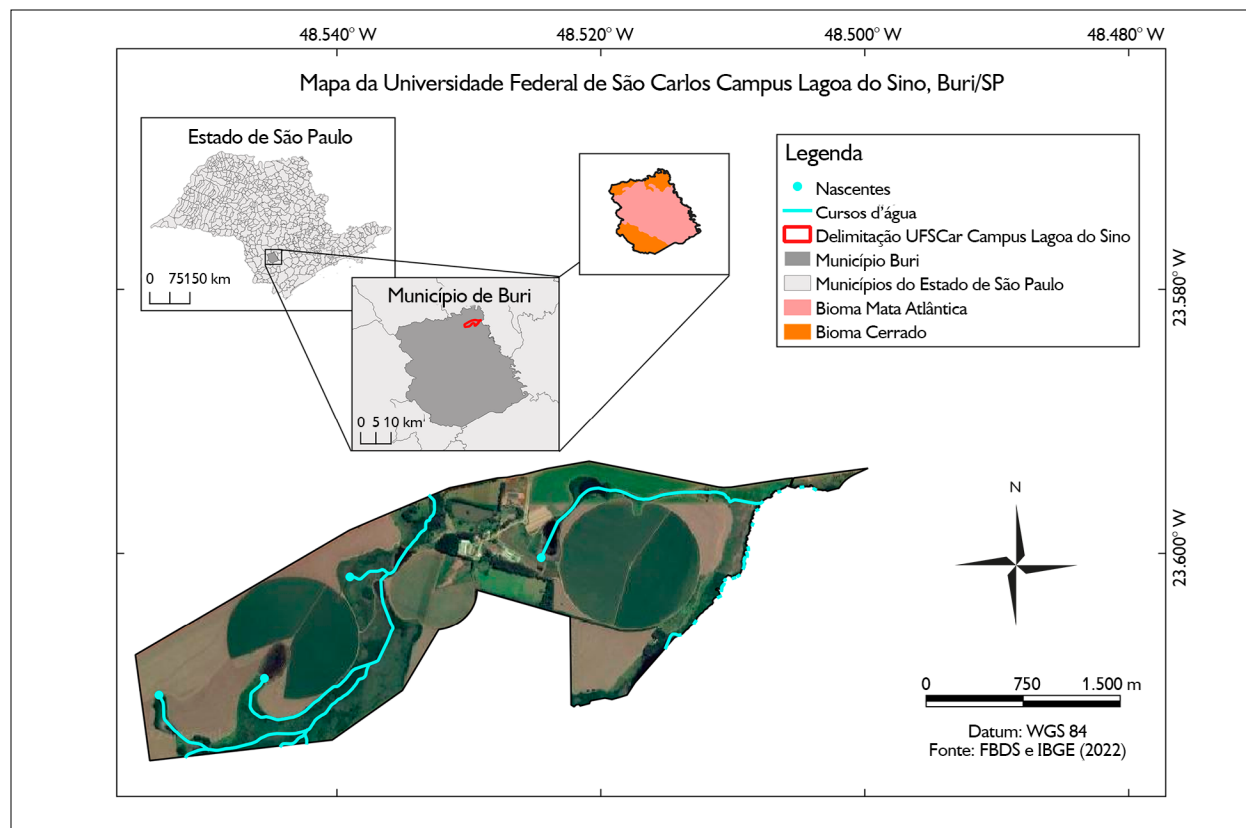


Figura 1. Delimitação espacial do *campus* universitário Lagoa do Sino, da UFSCar, localizado no município de Buri, São Paulo, Brasil. Mapa elaborado pelos autores (2024).

Figure 1. Spatial delimitation of the Lagoa do Sino university campus belongs to UFSCar, located in the municipality of Buri, São Paulo, Brazil. Map prepared by the authors (2024).

COLETA DO MATERIAL VEGETAL

O material vegetal utilizado pertence à espécie *Casearia sylvestris* (Swartz), encontrada espontaneamente nas áreas com vegetação nativa e antropizada. Realizamos as coletas no período da manhã, em janeiro de 2023, com auxílio de tesoura de poda, conforme indicado por Vilarinho e Cândido (2014), com algumas modificações. Preparamos 36 estacas, obtidas de uma planta adulta da espécie *C. Sylvestris*. Cada estaca possuía, aproximadamente, 15 cm de comprimento e 20 a 30 mm de diâmetro, em que o ápice caulinar foi decapitado. Portanto, as estacas utilizadas no experimento compunham o terceiro e o décimo nó do ramo caulinar (cada estaca apresentava entre 3 e 6 gemas).

TRATAMENTOS E CONDIÇÕES DE CULTIVO DAS ESTACAS TRATADAS

Os tratamentos investigados perfizeram a aplicação exógena dos biorreguladores auxina (AX) giberelina (GA) e citocinina (CK), obtidos a partir do produto comercial Stimulate® (Stoller do Brasil), o qual é composto por ácido giberélico (GA, 0,05 g.L⁻¹), ácido indolbutírico (AIB, 0,05 g.L⁻¹) e cinetina (Kt, 0,09 g.L⁻¹). Assim, os tratamentos empregados foram a aplicação de 0,0 mL.L⁻¹ (controle), 2,5 mL.L⁻¹ (tratamento 1 ou T1) e 5,0 mL.L⁻¹ (tratamento 2 ou T2). Cada uma das estacas foi submergida por 3 minutos em soluções de 0,0 mL.L⁻¹ (controle), 2,5 mL.L⁻¹ (T1) e 5,0 mL.L⁻¹ (T2) do produto comercial. Após a aplicação dos tratamentos, o material vegetal foi distribuído e cultivado em recipientes de plástico (vasos), preenchidos com substrato comercial composto por matéria orgânica isenta de agrotóxicos. O período de condução experimental ocorreu entre os dias 20 de janeiro a 11 de março de 2023, cuja temperatura média da região foi de 24,7 °C.

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), composto por três blocos, três tratamentos e por quatro repetições para cada tratamento, em que cada repetição foi formada por quatro estacas

(unidades), ou seja, 12 estacas por tratamento, totalizando 36 estacas experimentais.

AVALIAÇÕES EXPERIMENTAIS E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Após 50 dias da aplicação dos tratamentos (DAAT), ou seja, ao final do período experimental, avaliamos as seguintes variáveis-resposta: (i) número de brotos por estaca e (ii) presença ou ausência de raízes adventícias caulinares. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do ambiente computacional R® (versão 4.4.1). Os dados foram expostos à análise de variância por um critério (ANOVA), seguida pelo teste de Tukey para comparação das médias, ambos considerando 5% de probabilidade (95% de confiança). Consideramos as variáveis significativas (*) entre os tratamentos que possuíam valor de $p < 0,05$, enquanto valores de $p > 0,05$ foram considerados não significativos (^{ns}).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A ANOVA não evidenciou diferenças estatisticamente significativas no número de brotos entre os tratamentos avaliados ($F = 1,867$; $p = 0,234$). Dessa forma, o fator 'tratamento' não exerceu efeito significativo sobre a variável 'brotos' ao nível de 5% de probabilidade. O teste de comparações múltiplas de Tukey corroborou os resultados da ANOVA, uma vez que nenhuma das comparações entre os tratamentos apresentou diferença estatisticamente significativa ($p > 0,05$). Embora o T2 tenha apresentado média numericamente superior ao T1, essa diferença não foi significativa. Da mesma forma, o controle não diferiu estatisticamente dos tratamentos avaliados. Esses resultados indicam que, nas condições experimentais adotadas, a aplicação dos tratamentos não influenciou a emissão de brotos, o que nos permite especular a existência de uma 'resposta limitada' da espécie às doses testadas.

Em relação ao enraizamento, nenhuma das estacas apresentou desenvolvimento radicular ao final dos 50 dias de avaliação, independentemente do tratamento aplicado. Assim, não houve porcentagem de enraizamento nos

tratamentos, resultado que evidencia a limitação da resposta da espécie às condições experimentais e às concentrações testadas de biorreguladores. Em relação à quantidade de brotações de gemas, reportamos respostas interessantes referentes à aplicação do biorregulador. No decorrer dos 50 dias experimentais, as estacas tratadas com 5 mL.L⁻¹ (T2) apresentaram o maior número médio de brotações (Figura 2).

Exemplares de *C. sylvestris* foram empregados por Imatomi (2007) em um estudo sobre a efetividade da propagação vegetativa por estaquia coletada em dois períodos distintos, na estação seca (agosto) e na estação chuvosa (fevereiro), sob dosagens de biorreguladores auxínicos. Em 60 dias, esse mesmo autor observou que as maiores concentrações de auxinas sintéticas (AIB 1.000 mg.L⁻¹ + ANA [ácido naftaleno acético] 500 mg.L⁻¹) estimularam a formação de raízes em *C. Sylvestris*, coletadas durante o verão com 25% de enraizamento. O autor atribui esse resultado à maior competência fisiológica dos tecidos durante a estação chuvosa, período caracterizado por maior atividade metabólica, maior disponibilidade de carboidratos e níveis endógenos mais elevados de fitormônios, fatores que potencializam a resposta às auxinas exógenas (Imatomi, 2007).

A aplicação exógena de auxinas atua como sinal desencadeador da desdiferenciação celular nas regiões

basais da estaca, seguida pela rediferenciação em primórdios radiculares, processo amplamente descrito como dependente da plasticidade celular e da reprogramação do destino celular (Ikeuchi et al., 2013). Estudos recentes demonstram que a auxina exógena promove alterações morfofisiológicas e hormonais, como aumento local de auxina ativa, estímulo à divisão celular e reorganização do tecido vascular, ao criar um microambiente favorável à organogênese radicular (Khan et al., 2024). A indução do enraizamento adventício envolve a regulação diferencial de genes associados à resposta auxínica, ao metabolismo energético e à plasticidade celular, reforçando que a eficácia do enraizamento depende da interação entre o estado fisiológico do material vegetal e a sinalização hormonal exógena (Wei et al., 2013). Os resultados observados em nosso estudo e por Imatomi (2007) podem ser compreendidos como consequência da maior capacidade de desdiferenciação e reprogramação celular das estacas coletadas no verão, aliada à ação sinérgica das auxinas sintéticas na indução do desenvolvimento radicular.

O AIB e o ANA são auxinas sintéticas fotoestáveis de ação localizada, amplamente comercializadas, pelo seu potencial indutor de primórdios radiculares e, consequentemente, pelo enraizamento de estacas (Koyun & Acar, 2022). Especulamos que as concentrações de auxinas sintéticas adotadas neste estudo não foram o suficiente para o desenvolvimento radicular das estacas de *C. sylvestris*. De acordo com Almeida et al. (2007), o emprego de auxinas sintéticas promove maiores porcentagem, velocidade, qualidade e uniformidade no enraizamento de estacas. Adem et al. (2024) demonstram que a auxina atua como um sinal central na indução de raízes adventícias, regulando processos de transporte polar, estabelecimento de gradientes hormonais e ativação de vias de sinalização dependentes de genes responsivos à auxina. Segundo Adem et al. (2024), a aplicação exógena de auxinas intensifica a divisão e a diferenciação celular nas regiões basais das estacas, além de coordenar a interação com outros reguladores de crescimento, como as citocininas, criando um microambiente fisiológico favorável à organogênese radicular.

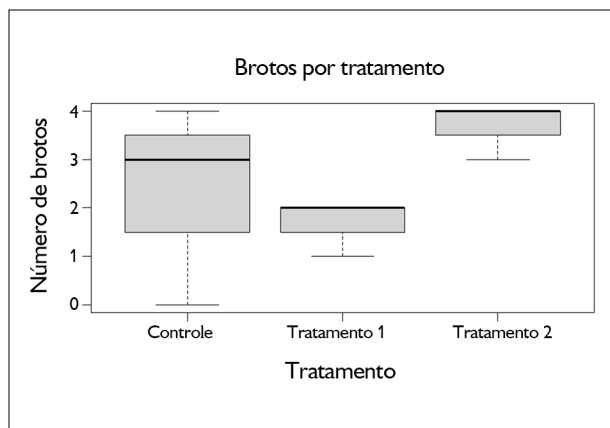


Figura 2. Número de brotos na estaquia caulinar de *Casearia sylvestris* (Swartz) por tratamento com biorreguladores.

Figure 2. Number of shoots in stem cuttings of *Casearia sylvestris* (Swartz) by treatment with bioregulators.

Spandre et al. (2012) obtiveram amostras vegetais de *C. sylvestris* em cada uma das quatro estações climáticas e observaram que as estacas coletadas no verão e na primavera foram as únicas a desenvolver raízes. Eles sugerem que o desenvolvimento radicular da guaçatonga está diretamente relacionado à época de coleta do material, de tal modo que o final da primavera é o período indicado, visto que o mesmo coincide com a época em que a espécie de estudo não investe metabolicamente em formação de estruturas reprodutivas e permite a distribuição de biomassa para partes vegetativas.

Chaves (2016) observou que as estacas de *C. sylvestris* apresentaram resultado satisfatório para brotação de gemas com o uso de estimulante natural à base de *Cyperus rotundus* L. (tiririca), após 160 dias de avaliação. Todavia, apesar de a tiririca apresentar nível elevado de AIB, o autor não observou o desenvolvimento de raízes nas estacas de *C. sylvestris*. Segundo Maggioni et al. (2020), a influência dos fitorreguladores no estímulo ao enraizamento de espécies florestais pode diferir entre as espécies, sendo que essas circunstâncias podem ser influenciadas por fatores endógenos, como idade, concentrações fitohormonais, dormência de gemas, entre outros. Apesar das estacas de *C. sylvestris* serem obtidas no verão, não houve indícios de enraizamento. Em contrapartida, a presença de brotos pressupõe que algum dos componentes fitohormonais no biorregulador favoreceu o desenvolvimento de tais estruturas, de modo contrastante ao resultado de Spandre et al. (2012), que não reportaram brotação, independente da estação climática.

Especulamos que a brotação de gemas ocorreu devido à presença de concentrações supostamente adequadas de citocininas (CK) e de auxinas (AX). A brotação de gemas axilares se regula a partir da presença combinada de AX, CK e estrigolactonas, de modo que a citocinina é um dos hormônios responsáveis pela quebra de dormência das gemas, dada a sua capacidade de produção celular na parte aérea vegetal (Doná et al., 2024). Além dos fatores hormonais, limitações metodológicas podem ter influenciado os resultados. O período de avaliação de

50 dias, embora comumente empregado em estudos com espécies herbáceas, pode ser considerado relativamente curto para espécies arbóreas lenhosas, cujo enraizamento tende a ocorrer de forma mais lenta.

Estudos com espécies florestais frequentemente relatam períodos superiores a 90 ou 120 dias como necessários para a observação consistente de raízes adventícias, especialmente em espécies com baixa capacidade rizogênica (Xavier et al., 2013). Já estudos sobre micropropagação de espécies lenhosas nativas destacam que técnicas de multiplicação clonal, embora promissoras para conservação *ex situ*, ainda enfrentam desafios relacionados à resposta específica de cada espécie aos reguladores de crescimento e às condições de cultivo. O AIB é um dos principais auxínicos testados para indução de raízes, mas sua eficácia varia entre táxons. Adaptações de protocolos, incluindo seleções de meio de cultura e concentrações hormonais, são essenciais para superar limitações fisiológicas inerentes a espécies recalcitrantes e promover enraizamento mais eficiente em espécies florestais nativas (Silva et al., 2025).

Espécies lenhosas podem demandar um tempo adicional para a reorganização metabólica e a diferenciação celular dos tecidos envolvidos na rizogênese, processos que dependem do balanço hormonal endógeno, da disponibilidade de reservas de carboidrato e da competência fisiológica do tecido vegetal (Hartmann & Kester, 2017). A ausência de enraizamento observada ao final do período experimental não necessariamente indica inviabilidade da propagação vegetativa da espécie, mas pode refletir a necessidade de períodos de avaliação mais prolongados e de ajustes nas condições experimentais, como tipo de estaca, época de coleta e manejo ambiental, para a adequada indução do sistema radicular.

De modo geral, os resultados indicam que a aplicação do biorregulador nas concentrações testadas não foi eficaz na indução do enraizamento de estacas caulinares de *C. sylvestris*, resultando em taxa de enraizamento nula em todos os tratamentos. Embora tenha sido

observada brotação, especialmente no tratamento com maior concentração, essa resposta não se refletiu em diferenças estatisticamente significativas, tampouco em desenvolvimento de primórdios radiculares.

Esses achados reforçam o caráter recalcitrante da espécie à propagação vegetativa por estaquia e indicam que fatores fisiológicos e metodológicos, como o período relativamente curto de avaliação, podem ter limitado a manifestação da rizogênese. Fatores epigenéticos podem contribuir para o caráter recalcitrante de algumas espécies à formação de raízes adventícias, pois modificações como metilação de DNA e alterações de histonas influenciam a competência celular para desdiferenciação e organogênese. Essas marcas epigenéticas regulam a expressão de genes envolvidos na regeneração e podem restringir a resposta ao estímulo hormonal em tecidos lenhosos. Portanto, a falta de ajustes epigenéticos favoráveis pode ter limitado a manifestação da rizogênese nas estacas avaliadas (Hesami et al., 2025). Dessa forma, são necessários estudos adicionais com ajustes nas condições experimentais e maior tempo de condução para melhor compreender o potencial de enraizamento da espécie.

Embora tenha sido observada a emissão de brotos, especialmente no tratamento com maior concentração do regulador vegetal (T2), essa resposta não se traduziu em diferenças estatisticamente significativas nem em desenvolvimento radicular, evidenciando que a estimulação da parte aérea não foi acompanhada pela indução da rizogênese. Além disso, nossos achados também nos permitem especular que a resposta fisiológica da guacatonga aos fitorreguladores é limitada e altamente dependente de fatores endógenos e exógenos, tais como balanço hormonal interno, época de coleta, reservas metabólicas e condições ambientais de cultivo. Adicionalmente, as limitações metodológicas, em especial o breve período de avaliação e a redução no número de blocos experimentais, supostamente podem ter contribuído para a ausência de enraizamento observada.

Assim, os resultados não descartam a possibilidade de enraizamento da espécie, mas indicam que protocolos

específicos, com períodos de avaliação prolongados, diferentes tipos e concentrações de reguladores vegetais e ajustes nas condições experimentais, tornar-se-ão necessários para elucidar os mecanismos envolvidos na propagação vegetativa de *C. sylvestris*.

CONCLUSÃO

Ao final deste estudo, aceitamos a hipótese de que biorreguladores não auxiliam o enraizamento de estacas de *Casearia sylvestris* (Swartz). Além disso, as condições testadas revelaram limitações no desenvolvimento radicular, sugerindo a necessidade de um refinamento nas técnicas experimentais focadas em plantas nativas.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de São Carlos, *campus* Lagoa do Sino, Buri, São Paulo, pela infraestrutura e pelo suporte técnico durante a condução dos experimentos. Às colegas Erika Magalhães Lima, Milena Vieira de Miranda, Karina Shizuka Toda e Victória Barros Pinheiro Silva, pelo auxílio na condução experimental. Ao Prof. Dr. Iuri Emanuel de Paula Ferreira (CCN/UFSCar), pelo suporte na análise estatística.

REFERÊNCIAS

- Adem, M., Sharma, L., Shekhawat, G. S., Šafranek, M., & Jásik, J. (2024). Auxin signaling, transport, and regulation during adventitious root formation. *Current Plant Biology*, 40, 100385. <https://doi.org/10.1016/j.cpb.2024.100385>
- Agência de Defesa Agropecuária do Paraná (ADAPAR). (2025). *STIMULATE®: Bula Agrofít*. https://www.adapar.pr.gov.br/sites/adapar/arquivos_restritos/files/documento/2025-08/stimulate.pdf
- Almeida, F. D. D., Xavier, A., Dias, J. M. M., & Paiva, H. N. (2007). Eficiência das auxinas (AIB e ANA) no enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. *Revista Árvore*, 31(3), 455-463. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000300011>
- Capobianco, R. A., Vestena, S., & Bittencourt, A. H. C. (2009). Alelopatia de *Joanesia princeps* Vell. e *Casearia sylvestris* Sw. sobre espécies cultivadas. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 19(4), 924-930. <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2009000600023>

- Castro, T. L. A., Santos, M. do S. M., & Cardoso, C. A. L. (2021). Extratos aquosos de *Casearia sylvestris* Swartz: uma revisão. *Revista Científica Multidisciplinar*, 2(4), 2675-6218. <https://doi.org/10.47820/recima21.v2i4.260>
- Chaves, T. de A. (2016). *Propagação vegetativa de espécies florestais com potencial para uso como cerca viva* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro]. <https://rima.ufrj.br/jspui/handle/20.500.14407/10409>
- Dantas, G. B., & Fagundes, N. C. A. (2024). Enraizadores alternativos na estaquia de frutíferas: pesquisas e possibilidades. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 19(2), 108-115. <http://doi.org/10.18378/rvads.v19i2.9973>
- De Lima, M. S., Araujo, M. M., Aimi, S. C., De Oliveira, V. V. T., Berghetti, A. L. P., Nascimento, N. F., & Tarouco, C. P. (2021). Use of physiological attributes to select native forest species for forest restoration in the southern Atlantic Forest biome, Brazil. *Forest Ecology and Management*, 501(1), 119659. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119659>
- Doná, S., Gazola, E., & Funai, C. H. (2024). Brotação e crescimento inicial de mudas de videira 'Niágara Rosada' em resposta à aplicação de fitorreguladores. *Research, Society and Development*, 13(9), e1713946763. <https://doi.org/10.33448/rsd-v13i9.46763>
- Foladori-Invernizzi, S., Zuffellato-Ribas, K. C., & Maggioni, R. (2021). Estaquia caulinar herbácea e semilenhosa de *Aegiphila brachiata* Vell. (Lamiaceae). *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 18(43), 67-73. <http://doi.org/10.18845/rfmk.v19i43.5811>
- Hartmann, H. T., & Kester, D. E. (2017). *Plant propagation: principles and practices* (9. ed.). Pearson.
- Hesami, M., Pepe, M., Spitzer-Rimon, B., Eskandari, M., & Jones, A. M. P. (2025). Epigenetic factors related to recalcitrance in plant biotechnology. *Genome*, 68, 1-11. <https://doi.org/10.1139/gen-2024-0098>
- Ikeuchi, M., Sugimoto, K., & Iwase, A. (2013). Plant callus: mechanisms of induction and repression. *The Plant Cell*, 25(9), 3159-3173. <https://doi.org/10.1105/tpc.113.116053>
- Imatomi, M. (2007). *Interferência de fatores bióticos e abióticos na propagação e conservação de Casearia sylvestris Swartz (Salicaceae)* [Dissertação de mestrado, Universidade Federal de São Carlos]. <https://repositorio.ufscar.br/items/4b6e8bf2-8a9d-4f54-b654-3be8505e9576>
- Kettenhuber, P. W., Sousa, R., & Sutilli, F. (2019). Vegetative propagation of Brazilian native species for restoration of degraded areas. *Floresta e Ambiente*, 26(2), e20170956. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.095617>
- Khan, M. A., Wang, Y., Muhammad, B., Uddin, S., Saeed, A., Khan, D., Ali, M., Saeed, S., & Jia, Z. (2024). Morpho-physiological and phytohormonal changes during the induction of adventitious root development stimulated by exogenous IBA application in *Magnolia biondii* Pamp. *Brazilian Journal of Biology*, 84, e255664. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.255664>
- Koyun, N. K., & Acar, R. (2022). The propagation of forage kochia cutting in different IBA concentrations and at holding times. *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 23(1), 35-43. <https://doi.org/10.17474/artvinofd.978268>
- Maggioni, R. de. A., Tomasi, J. de C., Zuffellato-Ribas, K. C., & Wendling, I. (2020). *Araucaria angustifolia*: ácido indol butírico e diferentes clones no enraizamento de estacas. *Advances in Forestry Science*, 7(1), 861-866. <https://doi.org/10.34062/afs.v7i1.7429>
- Oliveira, B. A. dos S., Maciejewski, P., Ramm, A., Frölech, D. B., Mattos, M. G. de, Gris, T., Assis, A. M. de, & Schuch, M. W. (2020). Tipos e concentrações de auxinas no enraizamento ex vitro de mirtileiro 'Woodard'. *Brazilian Journal of Development*, 6(6), 37823-37833. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n6-352>
- Pires, E. de S., Amaro, C. L., Freitas, I. A. S., Lima, G. H. F. de, Ganem, E. L. de O., & Matos, F. S. (2020). Análise de crescimento de plantas de umbuzeiro sob diferentes concentrações de giberelina. *Agrarian*, 13(48), 141-150. <https://doi.org/10.30612/agrarian.v13i48.7990>
- Puscan, R., Vásquez Castro, E. R., & Millones Chanamé, C. E. (2024). Combined effect of cytokinins on the *in vitro* propagation of three strawberry cultivars. *Revista Caatinga*, 37, e12180. <https://doi.org/10.1590/1983-21252024v37i2180rc>
- Rocha, F. M., Titon, M., Fernandes, S. J. de O., Santos, P. H. R. dos, Laia, M. L. de, & Pena, C. A. A. (2022). Uso de estufim e de AIB para o enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake × *Eucalyptus pellita* F. Muell. *Ciência Florestal*, 32(3), 1460-1478. <https://doi.org/10.5902/1980509865873>
- Roth, O., Yéchezkel, S., Serero, O., Eliyahu, A., Vints, I., Tzeela, P., Carignano, A., Janacek, D. P., Peters, V., Kessel, A., Dwivedi, V., Carmeli-Weissberg, M., Shaya, F., Faigenboim-Doron, A., Ung, K. L., Pedersen, B. P., & Sadot, E. (2024). Slow release of a synthetic auxin induces formation of adventitious roots in recalcitrant woody plants. *Nature Biotechnology*, 42, 1705-1716. <https://doi.org/10.1038/s41587-023-02065-3>
- Silva, G. A. S. da, Rocha, T. T., & Herrera, R. C. (2025). Micropropagação de espécies lenhosas nativas: análise do conhecimento científico e perspectivas para a conservação. *Fronteira: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, 14(1), 267-298. <https://doi.org/10.21664/2238-8869.2025v14i1.p267-298>

- Spandre, P., Zanette, F., Biasi, L. A., Koheler, H. S., & Niesing, P. C. (2012). Estaquia caular de guaçatonga (*Casearia sylvestris* Swartz) nas quatro estações do ano, com aplicação de diferentes concentrações de AIB. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, 14(3), 529–536. <https://doi.org/10.1590/S1516-05722012000300016>
- Vilarinho, M. K. C., & Cândido, A. K. A. A. (2014). Efeito de biorregulador no enraizamento de estacas de eritrina-verde-amarela (*Erythrina indica picta*). *Agrarian*, 7(24), 251–256. <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/2056>
- Wei, K., Wang, L., Cheng, H., Zhang, C., Ma, C., Zhang, L., Gong, W., & Wu, L. (2013). Identification of genes involved in indole-3-butyric acid-induced adventitious root formation in nodal cuttings of *Camellia sinensis* (L.) by suppression subtractive hybridization. *Gene*, 514(2), 91–98. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2012.11.008>
- Xavier, A., Wendling, I., & Silva, R. L. (2013). *Silvicultura clonal: princípios e técnicas* (2. ed.). UFV. <https://pt.scribd.com/document/957510436/Silvicultura-Clonal-Principios-e-Tecnicas-1>

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

J. V. Gomes contribuiu com administração de projeto, conceituação, investigação, visualização e escrita (rascunho original); I. G. A. Rossi com administração de projeto, conceituação, curadoria de dados, investigação, metodologia, validação, visualização e escrita (rascunho original, revisão e edição); e D. Baron com conceitualização, administração de projeto, recursos, validação, visualização e escrita (revisão e edição).

