







## ARTIGO ORIGINAL

# Resgate genético por enxertia e desempenho em campo de espécies arbóreas nativas sob aplicação de paclobutrazol e diferentes condições de luminosidade

## Genetic rescue by grafting and field performance of native tree species under paclobutrazol application and different light conditions

Karine Fernandes Caiafa<sup>1\*</sup> , Genaina Aparecida de Souza<sup>2</sup> , Thaline Martins Pimenta<sup>1</sup> ,  
Raul Firmino dos Reis Neto<sup>3</sup> , Felipe Maerschner Aguiar Peixoto<sup>3</sup> ,  
Gleison Augusto dos Santos<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa, MG, Brasil

<sup>2</sup>Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG, Viçosa, MG, Brasil

<sup>3</sup>Vale S.A., Brumadinho, MG, Brasil

### INFORMAÇÕES DO ARTIGO

Fonte de financiamento: Vale SA.

Conflito de interesse: Nada a declarar.

\*Autor correspondente:

karine.caiafa@ufv.br

Recebido: 27 novembro 2025.

Aceito: 13 abril 2026.

Editor: Alexandre de Vicente Ferraz.

**Como citar:** Caiafa, K. F., Souza, G. A., Pimenta, T. M., Reis Neto, R. F., Peixoto, F. M. A., & Santos, G. A. (2026). Resgate genético por enxertia e desempenho em campo de espécies arbóreas nativas sob aplicação de paclobutrazol e diferentes condições de luminosidade. *Scientia Forestalis*, 54, e4187. <https://doi.org/10.18671/scifor.v54.12>

### RESUMO

A enxertia é amplamente empregada na propagação vegetativa, mas seu uso como ferramenta de conservação genética emergencial em situações de perda iminente de árvores adultas ainda é pouco explorado. Este estudo avaliou a enxertia como estratégia de resgate genético de *Dalbergia nigra*, *Handroanthus serratifolius* e *Cariniana estrellensis* afetadas pelo rompimento da barragem da Mina Córrego do Feijão, em Brumadinho, MG. Além disso, avaliou, em campo, a sobrevivência, o crescimento e o florescimento de plantas enxertadas sob diferentes condições de luminosidade e na presença ou ausência de paclobutrazol (PBZ). Para cada espécie, duas matrizes adultas foram selecionadas em fragmentos florestais distintos, separados por mais de 500 m. Propágulos caulinares foram coletados e enxertados pelo método de garfagem em fenda cheia sobre porta-enxertos seminais vigorosos. O experimento em viveiro foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial 3 × 2, composto por espécies e épocas de enxertia (agosto e novembro). Em campo, dois experimentos foram conduzidos: um em arranjo fatorial 2 × 2, envolvendo espécies e aplicação de paclobutrazol (PBZ), e outro sob diferentes condições de luminosidade, com cultivo em pleno sol e em área sombreada. As variáveis analisadas incluíram sobrevivência, número de brotos, crescimento e florescimento. A enxertia realizada em agosto resultou em maior sobrevivência e maior crescimento das brotações em *D. nigra* e *C. estrellensis*, indicando efeito favorável das menores temperaturas e da menor radiação registradas nesse período. *D. nigra* apresentou maior número, comprimento e diâmetro de brotações entre as espécies. O PBZ aumentou o número de brotações, sem efeito significativo sobre a sobrevivência, comprimento e diâmetro. Em campo, *D. nigra* não apresentou diferenças na sobrevivência, no número de brotações ou no comprimento das brotações entre pleno sol e área sombreada, embora o diâmetro das brotações tenha sido maior em pleno sol. Para *H. serratifolius*, a sobrevivência foi maior em pleno sol. O florescimento ocorreu apenas em *H. serratifolius* e foi mais frequente em plantas tratadas com PBZ e cultivadas em pleno sol. Conclui-se que a enxertia representa uma estratégia eficaz para o resgate genético de árvores nativas em risco de perda, permitindo o retorno dos genótipos à área de origem. A combinação entre enxertia, aplicação de PBZ e cultivo em pleno sol favoreceu a expressão reprodutiva em *H. serratifolius*, o que pode contribuir para a manutenção do fluxo gênico e para a redução da erosão genética em cenários de desastres ambientais.

**Palavras-chave:** Conservação genética; Florestas nativas; Sobrevivência de enxertos; Florescimento.

### ABSTRACT

Grafting is widely used in vegetative propagation, but its use as an emergency genetic conservation tool in situations involving the imminent loss of adult trees remains poorly explored. This study evaluated grafting as a strategy for the genetic rescue of *Dalbergia nigra*, *Handroanthus serratifolius*, and *Cariniana estrellensis* affected by the failure of the Córrego do Feijão Mine tailings dam in Brumadinho, Minas Gerais, Brazil, and, under field conditions, evaluated the survival, growth, and flowering of grafted plants under different light conditions and in the presence or absence of paclobutrazol (PBZ). For each species, two adult mother trees were selected in distinct forest fragments located more than 500 m apart. Stem propagules were collected and grafted by the cleft grafting method onto vigorous seedling rootstocks. The nursery experiment was conducted in a completely randomized design, in a 3 × 2 factorial arrangement composed of species and grafting seasons (August and November). In the field, two experiments



were conducted: one in a  $2 \times 2$  factorial arrangement involving species and paclobutrazol (PBZ) application, and another under different light conditions, with cultivation under full sun and in a shaded area. The variables analyzed included survival, number of shoots, growth, and flowering. Grafting performed in August resulted in higher survival and greater shoot growth in *D. nigra* and *C. estrellensis*, indicating a favorable effect of the lower temperatures and lower radiation recorded during that period. *D. nigra* showed the highest values for shoot number, length, and diameter among the species. PBZ increased the number of shoots, with no significant effect on survival or on increments in shoot length and diameter. Under field conditions, *D. nigra* showed no variation in survival, number of shoots, or shoot length between full sun and shaded conditions, although shoot diameter was greater under full sun. For *H. serratifolius*, survival was higher under full sun. Flowering occurred only in *H. serratifolius* and was more frequent in plants treated with PBZ and grown under full sun. It was concluded that grafting represents an effective strategy for the genetic rescue of native trees at risk of loss, allowing the return of rescued genotypes to their area of origin. The combination of grafting, PBZ application, and cultivation under full sun favored reproductive expression in *H. serratifolius*, which may contribute to the maintenance of gene flow and to the reduction of genetic erosion in scenarios of environmental disaster.

**Keywords:** Genetic conservation; Native forests; Graft survival; Flowering.

## 1. INTRODUÇÃO

A enxertia é uma técnica de propagação vegetativa utilizada na agricultura há mais de dois mil anos, com ampla aplicação em fruticultura, horticultura e produção de mudas clonais (Baron et al., 2019; Mendes et al., 2020). Apesar desse histórico consolidado, seu uso com finalidade principal de conservação genética de espécies arbóreas nativas ainda é recente e pouco explorado (Mendes et al., 2020). Estudos realizados no Brasil e em outros países demonstram que a enxertia é uma alternativa eficiente para a propagação de espécies lenhosas, destacando-se pela alta sobrevivência e formação bem-sucedida da união entre enxerto e porta-enxerto (Mendes et al., 2020), baixo custo relativo, quando comparada a outros métodos de propagação vegetativa que demandam maior infraestrutura de viveiro (Baldoni, 2018; Almeida et al., 2020; Simões et al., 2021).

Um dos principais desafios associados à enxertia é o insucesso do enxerto, frequentemente relacionado à incompatibilidade entre copa e porta-enxerto (Baron et al., 2019). Além dessa causa primária, fatores ambientais, presença de patógenos e o desalinhamento dos tecidos vasculares também contribuem para a falha na formação do ponto de união. Condições ambientais adversas podem comprometer a cicatrização do enxerto, reduzindo a sobrevivência das plantas (Baldoni, 2018; Almeida et al., 2020; Simões et al., 2021).

Do ponto de vista da conservação e do melhoramento genético, a enxertia oferece oportunidades estratégicas. Plantas enxertadas, obtidas a partir de matrizes adultas, tendem a expressar precocemente a competência reprodutiva, reduzindo o intervalo entre resgate do material genético e produção de flores e frutos (Simões et al., 2021). Essa característica é particularmente relevante em espécies arbóreas de ciclo longo, nas quais a coleta de sementes em condições naturais torna-se inviável quando indivíduos se encontram sob risco iminente de morte ou remoção. Nesses casos, a enxertia permite resgatar genótipos de interesse, manter esses indivíduos em bancos clonais ou devolvê-los à área de origem, contribuindo para reduzir a perda de variabilidade genética em populações impactadas (Simões et al., 2021).

O uso de reguladores de crescimento, como o paclobutrazol (PBZ), pode potencializar a eficiência dessas estratégias. O PBZ é um triazol largamente empregado na agricultura por atuar na inibição da biossíntese de giberelinas, alterando o balanço hormonal, aumentando os níveis de ácido abscísico e citocininas e, conseqüentemente, favorecendo a indução floral e a antecipação da transição reprodutiva (Desta & Amare, 2021). Em plantas enxertadas, a aplicação de PBZ pode acelerar o florescimento e a frutificação, encurtando o tempo necessário para que os indivíduos resgatados contribuam com a regeneração e a recomposição genética das populações afetadas (Desta & Amare, 2021).

Nesse contexto, o rompimento da barragem de rejeitos da mina Córrego do Feijão, em Brumadinho, Minas Gerais, provocou severos impactos sobre remanescentes de vegetação nativa em área de ecótono entre Mata Atlântica e Cerrado, colocando em risco de morte diversas árvores adultas de espécies ameaçadas ou de ocorrência restrita. Entre as espécies afetadas, *Dalbergia nigra* (Vell.) Allemão ex Benth (jacarandá-da-bahia), *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S.Grose (ipê-amarelo) e *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kuntze (jequitibá-branco) apresentam elevada relevância ecológica e silvicultural, além de importância para a conservação da flora nativa.

Frente a esse cenário, a aplicação de técnicas de enxertia associadas à indução de florescimento surge como alternativa para o resgate genético emergencial desses indivíduos, permitindo tanto a conservação de genótipos quanto sua reinserção no ambiente de origem.

Diante do exposto, este estudo teve como objetivos: (i) avaliar a enxertia como estratégia de resgate genético de árvores nativas afetadas pelo rompimento da barragem em Brumadinho, MG; e (ii) avaliar a sobrevivência, o crescimento e o florescimento de plantas enxertadas em campo sob diferentes condições de luminosidade e na presença ou ausência de paclobutrazol.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

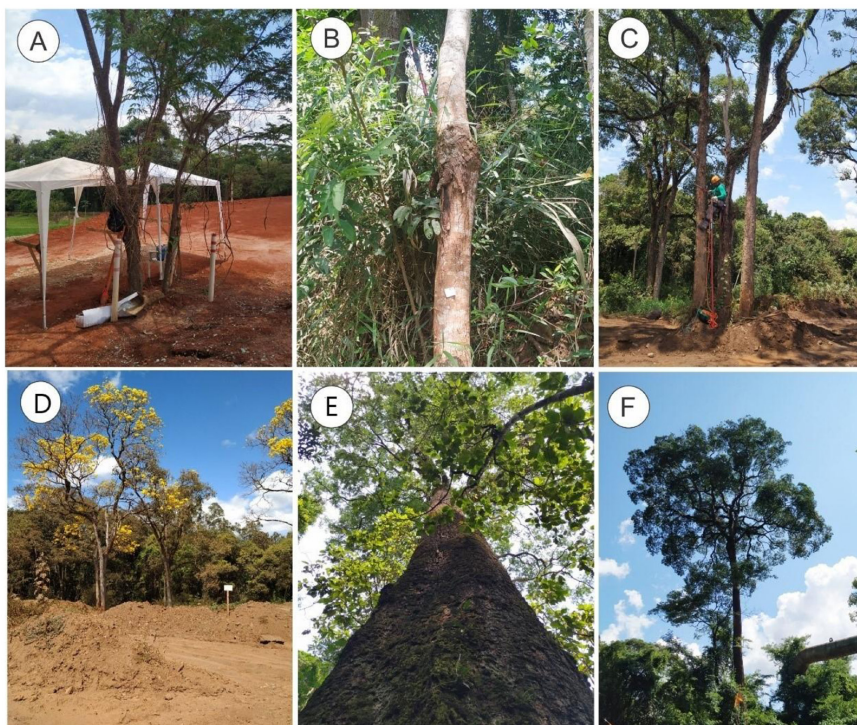
### 2.1. Área de estudo e seleção das árvores matrizes

O estudo foi conduzido em Brumadinho, Minas Gerais, Brasil, em área de ecótono entre Mata Atlântica e Cerrado (IBGE, 2004). Árvores matrizes de *D. nigra*, *H. serratifolius* e *C. estrellensis* foram selecionadas com base em critérios ecológicos (endemismo, risco de extinção, valor de conservação) e na condição de risco iminente de morte causada pelo rompimento da barragem da Mina Córrego do Feijão.

Para cada espécie, duas matrizes adultas foram selecionadas, localizadas em fragmentos florestais com distância superior a 500 metros entre si, a fim de minimizar o risco de amostragem de indivíduos aparentados e aumentar a representatividade genética dos materiais resgatados. As árvores apresentavam danos estruturais ou estavam inseridas em áreas previstas para supressão vegetal (Figura 1).

### 2.2. Coleta e preparo do material vegetativo

De cada matriz, estacas caulinares com 15 a 20 cm de comprimento, contendo no mínimo três gemas laterais, foram coletadas em ramos



**Figura 1:** Imagens representativas de árvores nativas sob risco de morte em Brumadinho, MG, Brasil. (A e B) Árvores de *Dalbergia nigra* com troncos danificados pela lama. (C e D) Árvores de *Handroanthus serratifolius* com troncos danificados. (E e F) Árvores de *Cariniana estrellensis* em área adjacente à barragem do Córrego do Feijão, cuja vegetação será suprimida.

localizados na porção mediana da copa. Após a coleta, o material foi umedecido, embalado em papel-toalha e papel alumínio, e acondicionado em caixas térmicas em camadas alternadas de propágulos embalados, placas de papelão e recipientes fechados contendo gelo, de modo a evitar o contato direto do material vegetal com a fonte de resfriamento. Esse arranjo foi adotado para reduzir a transpiração e preservar a turgescência dos tecidos durante o transporte até o viveiro (Figura 2). A enxertia foi realizada no período máximo de 48 horas após a coleta.

### 2.3. Produção dos porta-enxertos e procedimento de enxertia

Os porta-enxertos foram produzidos a partir de sementes das mesmas espécies utilizadas como enxerto. Inicialmente, procedeu-se à correção da acidez do solo por meio da aplicação de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e carbonato de magnésio ( $\text{MgCO}_3$ ), na relação estequiométrica de 4:1, com o objetivo de elevar a saturação por bases a 60% (Gonçalves et al., 2000). Após essa etapa, o solo corrigido permaneceu incubado por um mês, com umidade mantida próxima à capacidade de campo. Em seguida, foi incorporado ao solo superfosfato simples, na dose de  $4 \text{ kg m}^{-3}$ . Posteriormente, o substrato foi acondicionado em sacolas plásticas com volume aproximado de 1,5 L, e suplementado com fertilizante de liberação controlada Osmocote® 15-09-12, na dose de 5 g por recipiente. A semeadura foi então realizada diretamente nesses recipientes. As mudas permaneceram em viveiro até atingirem aproximadamente um ano de idade e diâmetro médio do caule de cerca de 0,5 cm, condição considerada adequada para a realização da enxertia.

A enxertia foi realizada pelo método de garfagem em fenda cheia. O ponto de corte no porta-enxerto foi definido de acordo com o seu diâmetro, de modo a coincidir com o diâmetro do propágulo coletado, favorecendo o ajuste entre os tecidos. O procedimento consistiu

em quatro etapas principais: abertura da fenda central no caule do porta-enxerto, mantendo-se um par de folhas; preparo do enxerto com corte em cunha; inserção do enxerto na fenda e vedação do ponto de enxertia com parafilme e fita isolante (Figura 3).

Após a enxertia, as plantas foram transferidas para vasos de 10 L contendo substrato comercial Carolina Soil®, composto principalmente por turfa de Sphagnum, vermiculita expandida, casca de arroz carbonizada e aditivos como calcário, gesso e fertilizante NPK em traços. Ao substrato foram adicionados Osmocote® 15-09-12 e superfosfato simples nas doses de 1,07 e 2,13  $\text{g L}^{-1}$  de substrato, respectivamente.

O cultivo foi conduzido em ambiente protegido no viveiro de pesquisas da Universidade Federal de Viçosa, em estrutura coberta com lona plástica, a qual proporcionava proteção física às plantas, embora as condições climáticas internas variassem de forma semelhante às condições externas. A irrigação foi realizada manualmente, uma vez ao dia, de modo a manter o substrato úmido, sem excesso de drenagem.

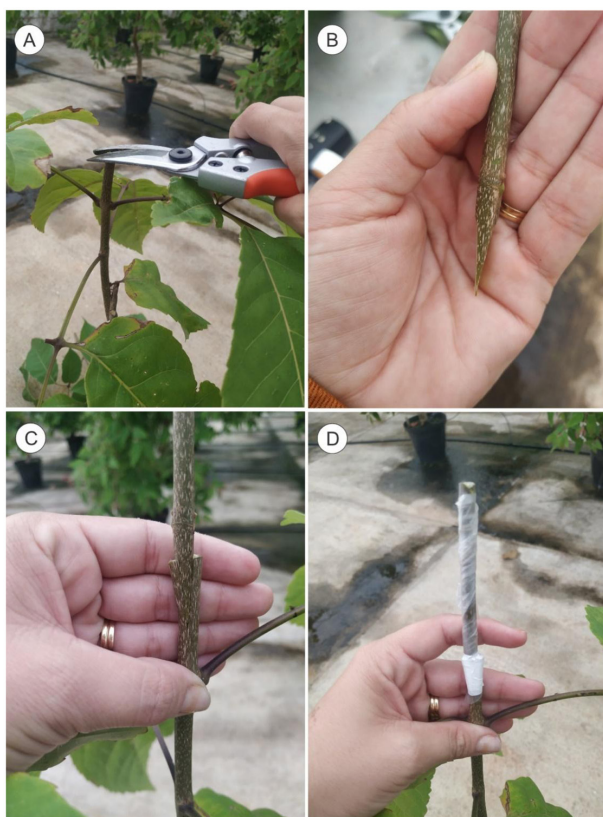
Viçosa, Minas Gerais, localiza-se em região de altitude média de aproximadamente 650 m e apresenta clima do tipo Cwa, segundo a classificação de Köppen, caracterizado por verão quente e chuvoso e inverno frio e seco. A precipitação média anual é de aproximadamente 1.200 a 1.220 mm, com concentração das chuvas entre outubro e março, e a temperatura média anual situa-se entre 19 e 20 °C (Santos et al., 2004). Os dados climatológicos registrados durante o período experimental encontram-se na Figura 4.

### 2.4. Delineamento experimental – fase viveiro

O experimento seguiu delineamento inteiramente casualizado, organizado em um arranjo fatorial  $3 \times 2$ , composto por três espécies arbóreas (*D. nigra*, *H. serratifolius* e *C. estrellensis*) e duas épocas de enxertia, realizadas em agosto (inverno) e em novembro (primavera), esta última caracterizada por maiores temperaturas e maior radiação.



**Figura 2:** Etapas da coleta de propágulos no campo. (A) As estacas caulinares coletadas, (B) umedecidas e envolvidas em papel-toalha, (C) embrulhadas em papel alumínio e (D) acondicionadas em caixa térmica para manter a turgescência durante o transporte até o local da enxertia.



**Figura 3:** Procedimento de enxertia em fenda cheia em *Handroanthus serratifolius*. (A) Corte realizado na porção média do caule do porta-enxerto, mantendo-se um par de folhas. (B) Garfo preparado para inserção na fenda do porta-enxerto. (C) União entre garfo e porta-enxerto. (D) Planta enxertada protegida com parafilme e fita de vedação.



**Figura 4:** Temperaturas diárias máxima, mínima e média da estação meteorológica de Viçosa/MG (A510) nos meses de agosto (A) e novembro (B) de 2020.  
**Fonte:** Instituto Nacional de Meteorologia.

Para cada combinação entre espécie e época, dez repetições foram estabelecidas, sendo cada repetição constituída por seis plantas enxertadas.

As avaliações foram realizadas 3 meses após a execução da enxertia, período suficiente para cicatrização do ponto de união e expressão inicial do vigor vegetativo. Nesse momento, foram mensuradas a porcentagem de sobrevivência, o número de brotações emitidas por planta e o crescimento vegetativo, representado pelo comprimento e pelo diâmetro das brotações.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), considerando o arranjo fatorial proposto. Quando identificados efeitos significativos, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, adotando-se nível de significância de  $p < 0,05$ , de forma a garantir rigor estatístico na interpretação das diferenças entre espécies e épocas de enxertia.

## 2.5. Plantio em campo

A fase conduzida em campo foi estruturada em dois experimentos independentes e implantados quatro meses após a enxertia. Para essa etapa, foram utilizadas plantas enxertadas em agosto.

Os plantios foram realizados na mesma região onde as árvores doadoras de propágulos se encontravam originalmente, de modo a possibilitar a reintrodução dos genótipos resgatados em seu ambiente de origem.

Nesta fase experimental, apenas duas espécies foram utilizadas: *D. nigra* e *H. serratifolius*, uma vez que *C. estrellensis* não apresentou número suficiente de enxertos viáveis para inclusão nos testes de campo.

O plantio, em ambos os experimentos, seguiu o mesmo protocolo, que consistiu em: abertura de covas com dimensões padronizadas de 40 × 40 × 40 cm, distribuídas em espaçamento de 3 × 3 m. Cada cova recebeu adubação de base composta por 100 g de termofosfato Yoorin Master®, como fonte de fósforo de liberação gradual; 90 g de superfosfato triplo, para complementar a disponibilidade de fósforo prontamente assimilável; e 150 g de NPK 06-30-06, visando ao fornecimento de nutrientes essenciais ao estabelecimento inicial das plantas. Adicionalmente, foram incorporados 2 L de esterco bovino

curtido, com o objetivo de elevar o teor de matéria orgânica e melhorar a estrutura do solo, e 10 g de hidrogel previamente hidratado, para aumentar a retenção hídrica na cova e reduzir o estresse hídrico das mudas no período inicial de estabelecimento.

## 2.6. Experimento 1. Aplicação de paclobutrazol

O primeiro experimento foi instalado em delineamento em blocos ao acaso, em arranjo fatorial 2 × 2, envolvendo duas espécies (*D. nigra* e *H. serratifolius*) e dois níveis do fator regulador de crescimento, correspondentes à presença ou ausência de aplicação de paclobutrazol (PBZ). Cinco repetições foram utilizadas, com quatro plantas por repetição.

A aplicação de PBZ foi realizada ainda na fase de viveiro, 10 dias antes do plantio em campo. Para cada planta, foram adicionados 2 mL do produto comercial Cultar® 250 SC, contendo 25% de PBZ, diluídos em 250 mL de água. Essa solução foi aplicada diretamente ao substrato de cada vaso.

As avaliações foram realizadas oito meses após o plantio, sendo mensuradas a porcentagem de sobrevivência, o número de brotações por planta, o comprimento das brotações e o diâmetro das brotações. Para comprimento e diâmetro das brotações, as mensurações foram realizadas no momento do plantio e ao final do período experimental, sendo os valores expressos como incremento, calculado pela diferença entre a medida final e a medida inicial.

Além das variáveis vegetativas, avaliou-se também o florescimento das plantas enxertadas. O monitoramento foi realizado quinzenalmente durante 12 meses, registrando-se, para cada tratamento, o percentual de indivíduos com estruturas reprodutivas ao longo do período experimental.

## 2.7. Experimento 2. Condições de luminosidade: pleno sol e sombreamento

O segundo experimento foi instalado em delineamento em blocos ao acaso, com dois tratamentos: plantio em pleno sol e em

área sombreada. A área sombreada correspondia ao interior de um fragmento de vegetação (Figura 5). Plantas enxertadas de *D. nigra* e *H. serratifolius* foram avaliadas, com cinco repetições por tratamento e quatro plantas por repetição. As duas espécies foram analisadas separadamente, não sendo realizadas comparações entre elas neste experimento.

As variáveis avaliadas no experimento 2 foram as mesmas descritas para o experimento 1.

## 2.8. Análises estatísticas

Os dados de porcentagem de sobrevivência, número de brotações por planta, comprimento das brotações e diâmetro das brotações de ambos experimentos foram submetidos à ANOVA, com comparação de médias pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os dados de florescimento, por não atenderem aos pressupostos de normalidade, foram analisados pelo teste não paramétrico de Kruskal–Wallis. Todas as análises foram conduzidas no software R (R Development Core Team, 2021).

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Sobrevivência e crescimento dos enxertos no viveiro

A porcentagem de sobrevivência variou entre espécies e épocas de enxertia (Figura 6A). Para *C. estrellensis* e *D. nigra*, a enxertia realizada em agosto resultou em porcentagens de sobrevivência 25 e 20 pontos percentuais superiores, respectivamente, em relação à realizada em novembro. Para *H. serratifolius*, não houve diferença significativa entre épocas de enxertia. Em agosto, *D. nigra* apresentou a maior porcentagem de sobrevivência (88,33%), seguida por *H. serratifolius* (67,67%) e *C. estrellensis* (30,00%). Em novembro, *H. serratifolius* e *D. nigra* apresentaram porcentagens de sobrevivência semelhantes entre si (68,33% e 63,33%, respectivamente), ambas superiores à observada em *C. estrellensis* (5,00%).

A época de enxertia influenciou o comprimento das brotações (Figura 6B). Em *D. nigra*, a enxertia realizada em agosto proporcionou

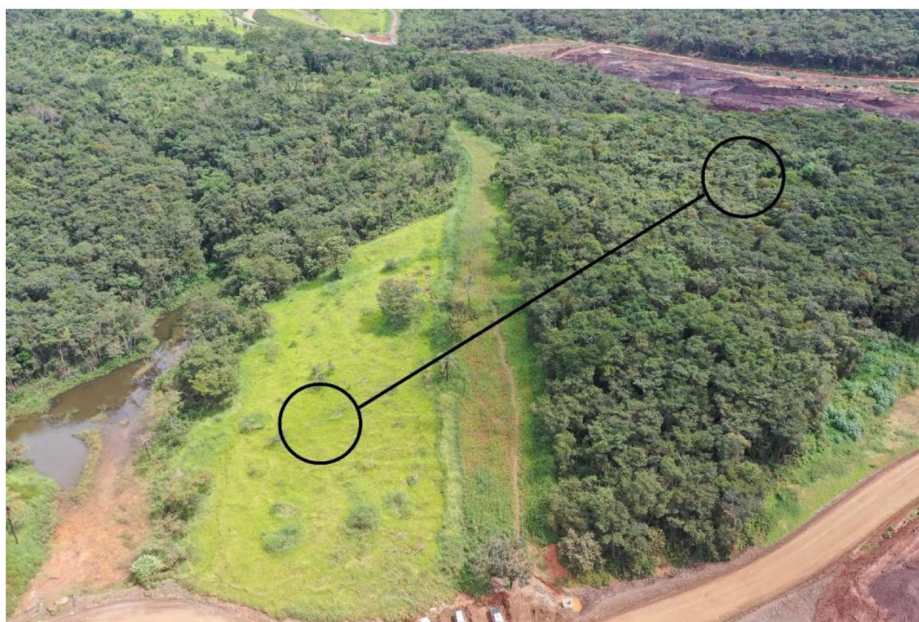
maior comprimento médio das brotações (12,62 cm) em comparação à realizada em novembro (5,82 cm). Para *H. serratifolius*, os valores médios foram de 2,98 cm em agosto e 1,16 cm em novembro, sem diferença significativa entre as épocas. Em *C. estrellensis*, houve emissão de brotações mensuráveis apenas nas plantas enxertadas em agosto, com comprimento médio de 2,02 cm. Considerando a comparação entre espécies, *D. nigra* apresentou os maiores comprimentos médios de brotação em ambas as épocas avaliadas.

O diâmetro das brotações também foi influenciado pela época de enxertia (Figura 6C). Em *D. nigra*, o diâmetro médio aumentou de 1,04 mm em novembro para 2,16 mm em agosto. Já em *H. serratifolius*, os valores médios foram de 0,34 mm em novembro e 0,72 mm em agosto, sem diferença significativa entre as épocas. Para *C. estrellensis*, as brotações apresentaram diâmetro médio de 0,47 mm em agosto, enquanto em novembro não houve emissão de brotações mensuráveis. Na comparação entre as espécies, *D. nigra* destacou-se por apresentar os maiores diâmetros médios de brotação em ambas as épocas de enxertia.

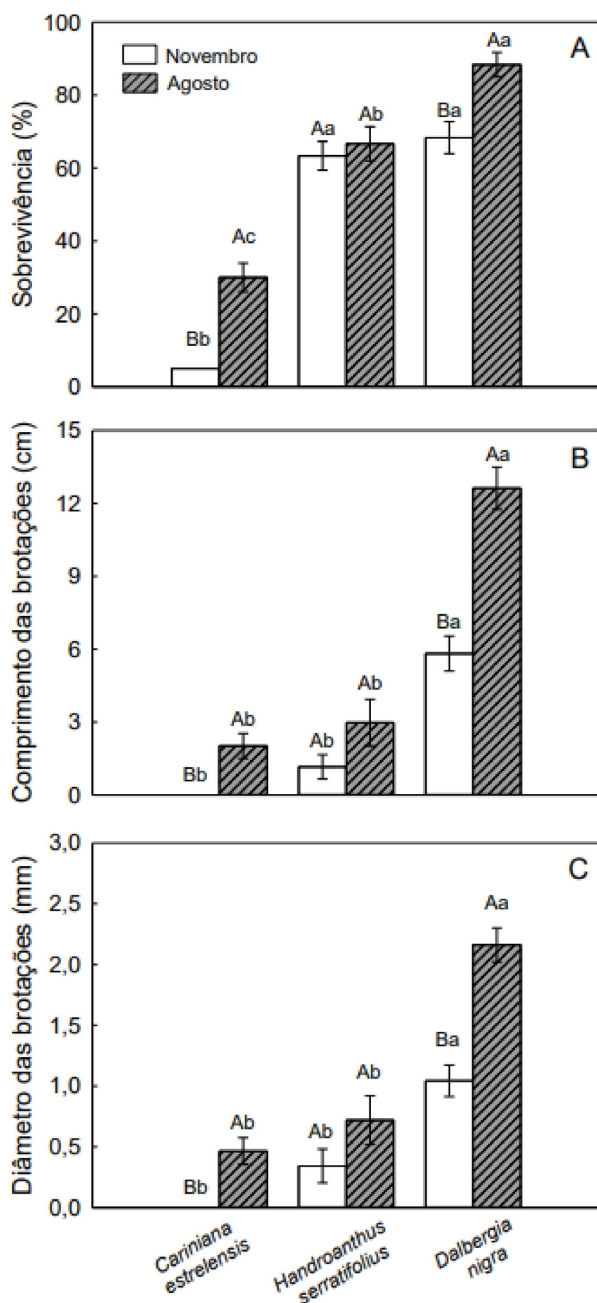
O número médio de brotações foi maior na enxertia de agosto (Figura 7A), com valores médios de 0,60 brotos planta<sup>-1</sup>, comparado a 0,29 brotos planta<sup>-1</sup> em novembro. Entre espécies, *D. nigra* apresentou o maior número médio (0,90 brotos planta<sup>-1</sup>), seguido por *H. serratifolius* (0,29 brotos planta<sup>-1</sup>), e *C. estrellensis* (0,16 brotos planta<sup>-1</sup>) (Figura 7B). Exemplos de enxertos bem-sucedidos, com emissão de brotações nas diferentes espécies avaliadas, são apresentados na Figura 8.

### 3.2. Plantio em campo: Efeito do paclobutrazol (PBZ) no estabelecimento em campo

Como a interação entre a aplicação de PBZ e as espécies não foi significativa, os efeitos desses fatores foram apresentados separadamente. A aplicação de PBZ influenciou apenas o número de brotações, com média de 2,64 brotos planta<sup>-1</sup> nas plantas tratadas e 1,87 brotos planta<sup>-1</sup> nas não tratadas (Figura 9B). As demais variáveis não foram afetadas pela aplicação do regulador de crescimento. A porcentagem de sobrevivência foi de 73% e 83%, o comprimento das brotações de



**Figura 5:** Área de implantação do experimento em campo, com plantio das mudas em duas condições de luminosidade: pleno sol e sombreamento. Os círculos indicam os locais de plantio, distanciados entre si em 150 m.



**Figura 6:** Sobrevivência e crescimento de enxertos de *Cariniana estrellensis*, *Handroanthus serratifolius* e *Dalbergia nigra* em duas épocas do ano (agosto e novembro). (A) Porcentagem de sobrevivência (%). (B) Comprimento das brotações (cm). (C) Diâmetro das brotações (mm). Letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre as épocas de enxertia dentro de cada espécie ( $p < 0,05$ ). Letras minúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre espécies dentro da mesma época ( $p < 0,05$ ). Os valores representam a média  $\pm$  erro-padrão de 10 repetições.

7,26 e 7,73 cm, e o diâmetro das brotações de 1,13 e 1,31 mm, para plantas tratadas e não tratadas, respectivamente (Figuras 9A, 9C e 9D).

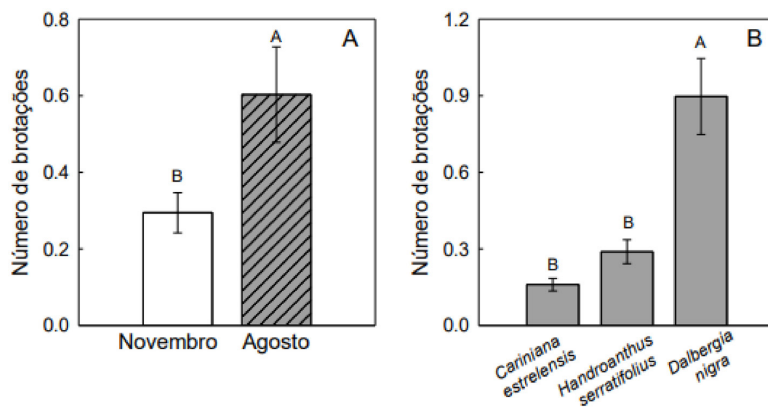
*Dalbergia nigra* apresentou maior número de brotações (2,86 brotos planta<sup>-1</sup>) que *H. serratifolius* (1,57 brotos planta<sup>-1</sup>) (Figura 10B). Por outro lado, a porcentagem de sobrevivência, o comprimento das brotações e o diâmetro das brotações não diferiram entre as espécies, com valores de 80% e 75%, 6,96 e 8,09 cm, e 1,17 e 1,30 mm para *D. nigra* e *H. serratifolius*, respectivamente (Figuras 10A, 10C e 10D).

Somente plantas de *H. serratifolius* floresceram. A porcentagem de florescimento foi maior nas plantas com aplicação de paclobutrazol (40%) do que naquelas onde este regulador de crescimento não foi aplicado (20%) (Figura 11).

### 3.3. Plantio em campo: Efeito do ambiente de cultivo (plantio em sol e em área sombreada)

Para *D. nigra*, o ambiente de cultivo não influenciou a sobrevivência, o número de brotações nem o comprimento das brotações, com valores de 85% e 75% para porcentagem de sobrevivência, 3,5 e 2,5 brotos por planta para número de brotações, e 9,26 e 5,95 cm para comprimento, em pleno sol e área sombreada, respectivamente (Figuras 12A, 12B e 12C). O diâmetro das brotações foi a única variável afetada pelo ambiente de cultivo, com maior valor em pleno sol (1,39 mm) em comparação à área sombreada (0,83 mm) (Figura 12D).

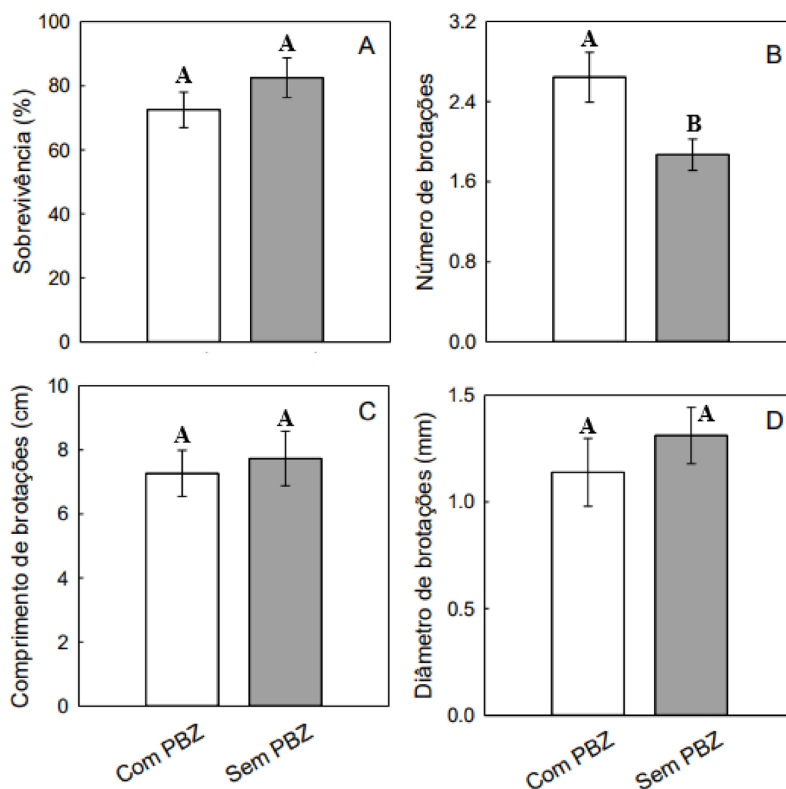
Para *H. serratifolius*, a sobrevivência foi maior em pleno sol (90%) do que em área sombreada (60%) (Figura 13A). Em contraste, as



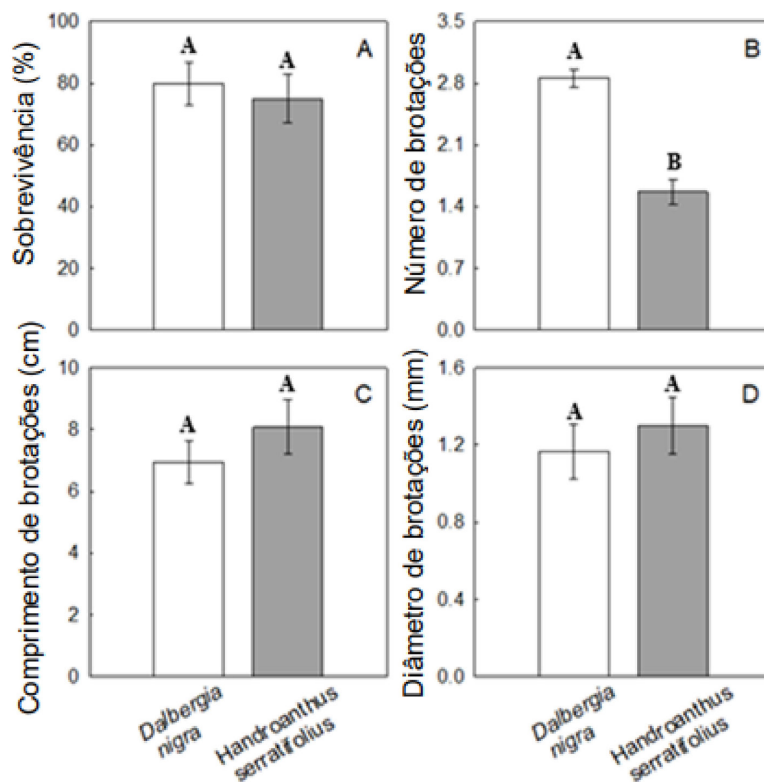
**Figura 7:** Número médio de brotações em duas épocas do ano (agosto e novembro) (A) e nas diferentes espécies avaliadas (B). Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os valores representam a média  $\pm$  erro-padrão de 10 repetições.



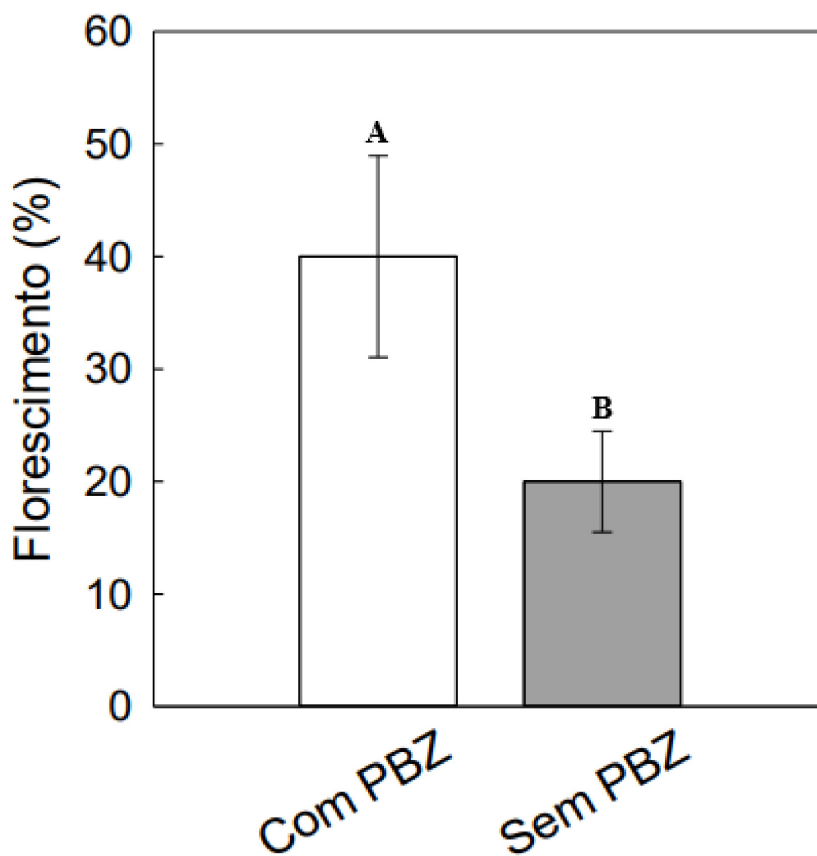
**Figura 8:** Enxertos bem-sucedidos de *Cariniana estrellensis* (A), *Handroanthus serratifolius* (B) e *Dalbergia nigra* (C), após a emissão de brotações na porção enxertada.



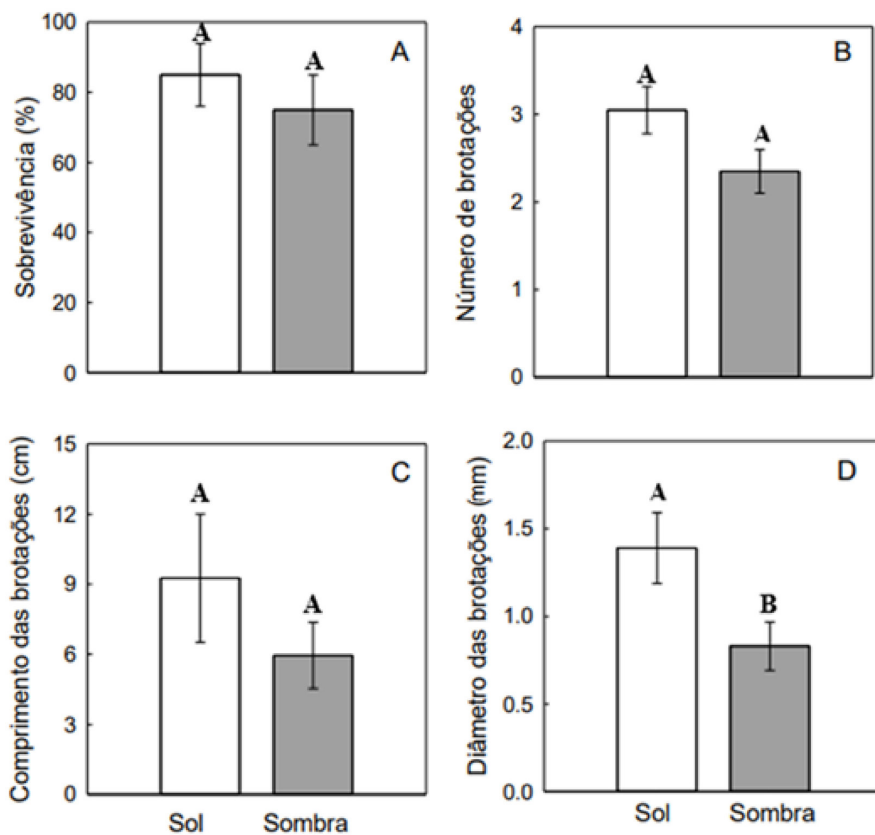
**Figura 9:** Sobrevivência e crescimento de enxertos tratados ou não com paclobutrazol (PBZ) em condições de campo. (A) Porcentagem de sobrevivência dos enxertos. (B) Número de brotações por planta. (C) Comprimento das brotações (cm). (D) Diâmetro das brotações (mm). Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os resultados representam a média  $\pm$  erro-padrão de cinco repetições.



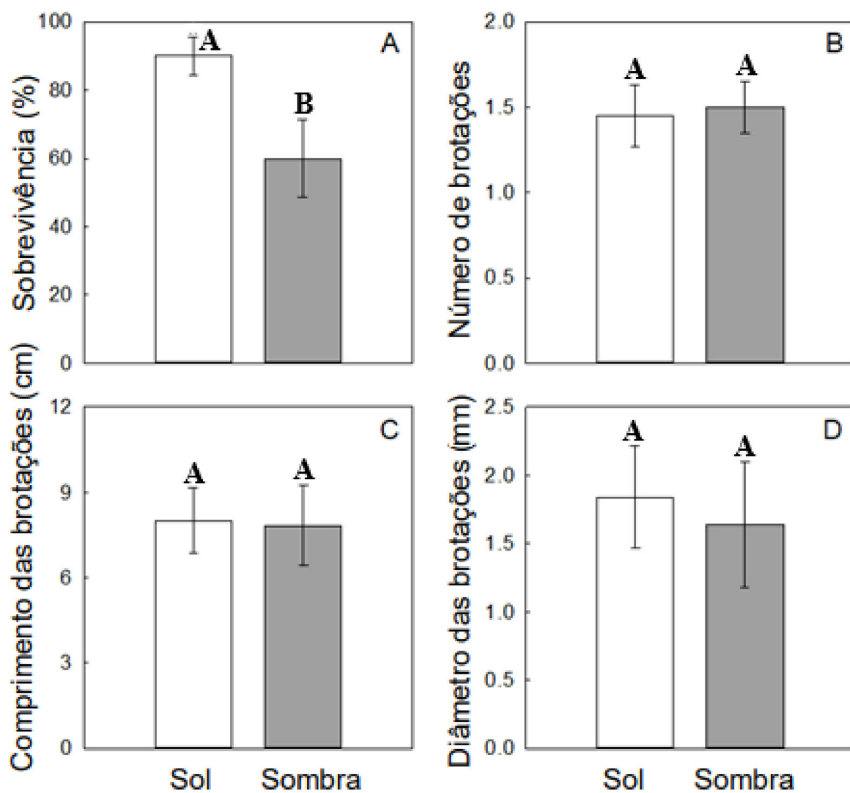
**Figura 10:** Sobrevivência e crescimento de enxertos de *Dalbergia nigra* e *Handroanthus serratifolius* em condições de campo. (A) Porcentagem de sobrevivência dos enxertos. (B) Número de brotações. (C) Comprimento das brotações (cm). (D) Diâmetro das brotações (mm). Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os resultados representam a média  $\pm$  erro-padrão de cinco repetições.



**Figura 11:** Florescimento de enxertos de *Handroanthus serratifolius* tratados ou não com paclobutrazol (PBZ). Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os resultados representam a média  $\pm$  erro-padrão de cinco repetições.



**Figura 12:** Sobrevivência e crescimento de enxertos de *Dalbergia nigra* em ambientes de pleno sol ou sombra. (A) Porcentagem de sobrevivência. (B) Número de brotações. (C) Comprimento das brotações (cm). (D) Diâmetro das brotações do garfo (mm). Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os resultados representam a média  $\pm$  erro-padrão de cinco repetições.



**Figura 13:** Sobrevivência e crescimento de enxertos de *Handroanthus serratifolius* cultivados em ambientes de pleno sol ou sombra. (A) Porcentagem de sobrevivência. (B) Número de brotações. (C) Comprimento das brotações (cm). (D) Diâmetro das brotações do garfo (mm). Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os resultados representam a média  $\pm$  erro-padrão de cinco repetições.

demais variáveis não diferiram em função da luminosidade. O número de brotações foi de 1,45 e 1,50 brotos por planta, o comprimento das brotações de 8,00 e 7,84 cm, e o diâmetro das brotações de 1,84 e 1,64 mm, em pleno sol e em área sombreada, respectivamente (Figuras 13B, 13C e 13D).

Somente plantas de *H. serratifolius* floresceram. O florescimento foi maior quando as plantas enxertadas foram plantadas em pleno sol (50%) do que em área sombreada (10%) (Figura 14).

#### 4. DISCUSSÃO

A enxertia permitiu o resgate de material genético de *D. nigra*, *H. serratifolius* e *C. estrellensis*, possibilitando a obtenção de plantas viáveis a partir de árvores adultas sob risco iminente de morte. Embora a porcentagem de sobrevivência tenha variado entre as espécies, os resultados demonstram o potencial da técnica para o resgate genético emergencial de espécies arbóreas nativas. Esse resultado é consistente com estudos que apontam a enxertia como alternativa viável para a propagação e conservação de espécies lenhosas brasileiras (Mendes et al., 2020; Simões et al., 2021).

A elevada porcentagem de sobrevivência observada em agosto indica que as condições de menor temperatura e menor radiação registradas nesse período favoreceram a formação do ponto de união, corroborando a importância da época de enxertia para o estabelecimento de espécies arbóreas (Xavier et al., 2013).

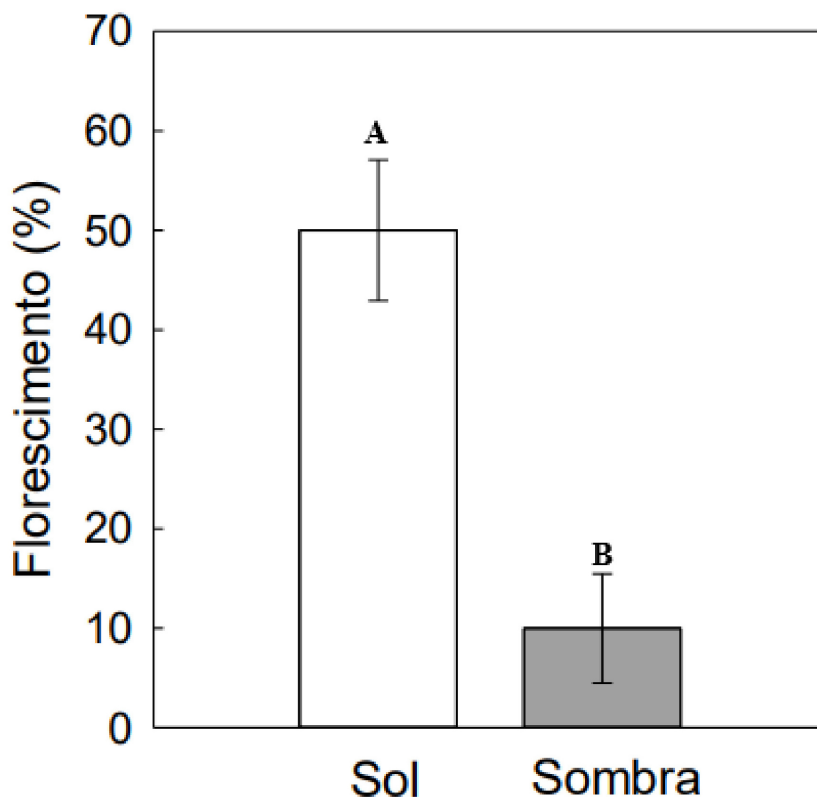
A maior sobrevivência e o melhor desempenho vegetativo na enxertia realizada no final do inverno podem estar relacionados à maior atividade cambial e ao início da retomada metabólica das plantas, o que favorece a produção de calo e a reconexão vascular entre enxerto e porta-enxerto (Franzon et al., 2008; Nanda & Melnyk,

2018). Em contraste, as temperaturas elevadas registradas em novembro provavelmente aumentaram o risco de desidratação dos tecidos, comprometendo a sobrevivência dos enxertos e a emissão de brotações, fenômeno descrito em diversas espécies arbóreas tropicais (Oliveira et al., 2008). Esses resultados reforçam que a janela climática é fator determinante para o sucesso da enxertia em programas de propagação e conservação.

As diferenças entre as espécies quanto ao número, comprimento e diâmetro das brotações refletem características genéticas intrínsecas, já observadas para outras espécies nativas do Brasil em estudos morfofisiológicos e de arquitetura de copa (Carvalho, 2014; Mendes et al., 2020). O padrão mais vigoroso de brotação em *D. nigra* pode estar associado ao seu hábito de ramificação irregular e à maior capacidade de emitir múltiplas brotações por unidade de ramo.

A aplicação de paclobutrazol (PBZ) influenciou apenas a emissão de brotações, sem alterar sobrevivência nem incremento em comprimento e diâmetro. Considerando que o PBZ atua na inibição da biossíntese de giberelinas, favorecendo maior concentração de ácido abscísico e citocininas (Desta & Amare, 2021), o aumento no número de brotos pode estar relacionado ao redirecionamento de fotoassimilados para meristemas laterais. Entretanto, a ausência de diferenças no crescimento sugere que o intervalo entre aplicação e avaliação pode não ter sido suficiente para expressar plenamente os efeitos fisiológicos do regulador, como já observado em frutíferas e espécies arbóreas nativas (Negi & Sharma, 2009; Fan et al., 2018).

No estabelecimento em campo, o PBZ não influenciou a sobrevivência das plantas, o que indica ausência de fitotoxicidade nas doses aplicadas. Para *D. nigra*, a sobrevivência, o número de brotações e o comprimento das brotações não diferiram entre pleno sol e área sombreada, enquanto o diâmetro das brotações foi maior em pleno sol. Esse comportamento sugere boa plasticidade fisiológica da espécie, o que é coerente com



**Figura 14:** Florescimento de enxertos de *Handroanthus serratifolius* plantados em pleno sol e em área sombreada. Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ). Os resultados representam a média  $\pm$  erro-padrão de cinco repetições.

sua ocorrência em ambientes com maior disponibilidade de luz. Para *H. serratifolius*, a maior sobrevivência em pleno sol reforça sua exigência por alta intensidade luminosa, já descrita para espécies do gênero *Handroanthus* em diferentes regiões do Brasil (Lohmann, 2015). Em ambas as espécies, a ausência de diferenças significativas em crescimento entre sol e sombra no curto prazo pode indicar que os enxertos focaram inicialmente em restabelecer sistemas condutor e radicular antes de expressar respostas morfológicas mais fortes ao ambiente.

O florescimento antecipado de *H. serratifolius* constitui resultado de grande relevância para estratégias de resgate genético pós-desastre, uma vez que o curto intervalo entre enxertia e produção de estruturas reprodutivas confirma a eficácia do uso de PBZ para estimular a transição reprodutiva em espécies nativas (Mendes et al., 2020). A maior floração em pleno sol reforça o papel da luminosidade como indutor fisiológico chave (Taiz & Zeiger, 2017), especialmente em espécies adaptadas a ambientes abertos, como é o caso dos ipês.

Considerando o cenário de Brumadinho, o conjunto dos resultados demonstra que a enxertia representa uma ferramenta promissora para minimizar perdas de genótipos e permitir a continuidade da contribuição reprodutiva de árvores adultas condenadas à morte. Embora o número de matrizes por espécie tenha sido limitado pelo próprio contexto emergencial, a técnica permitiu a manutenção de indivíduos geneticamente distintos (matrizes separadas por >500 m e provenientes de fragmentos diferentes), o que contribui para preservar pelo menos parte da variabilidade genética local. A longo prazo, o estabelecimento dessas plantas em campo, associado ao florescimento precoce, pode favorecer a recomposição do fluxo gênico e a restauração funcional das populações afetadas.

## 5. CONCLUSÃO

A enxertia mostrou potencial como estratégia de resgate genético de *D. nigra*, *H. serratifolius* e *C. estrellensis* em situação de risco iminente de perda de indivíduos adultos após o rompimento da barragem em Brumadinho, MG. A época de realização da enxertia influenciou o sucesso do procedimento, com melhores resultados obtidos em agosto, quando foram observadas maiores porcentagens de sobrevivência e maior crescimento das brotações.

Em campo, as plantas enxertadas apresentaram capacidade de estabelecimento na área de origem das matrizes, reforçando o potencial da técnica para reintrodução dos genótipos resgatados em seu ambiente natural. A aplicação de paclobutrazol não alterou a sobrevivência nem o crescimento em campo, mas aumentou o número de brotações e favoreceu o florescimento de *H. serratifolius*. As condições de luminosidade também influenciaram o desempenho das plantas, com maior sobrevivência e florescimento de *H. serratifolius* em pleno sol, enquanto em *D. nigra* o principal efeito observado foi o aumento do diâmetro das brotações nesse ambiente.

Em conjunto, os resultados demonstram que a enxertia constitui uma ferramenta promissora para o resgate genético de espécies arbóreas nativas, e que o desempenho em campo e a expressão reprodutiva das plantas enxertadas foram influenciados pelas condições de luminosidade e pela aplicação de paclobutrazol.

## REFERÊNCIAS

- Almeida, I. I., Santos, R. F., Mayer, M. M., & Silva, J. Z. (2020). Rootstocks and grafting of Brazil nuts by the patch budding. *Revista de Ciências Agrárias*, 63(1), 1-9.
- Baldoni, A. B. (2018). *Como fazer enxertia por borbulhia em castanheira-do-brasil (Bertholletia excelsa Bonpl.)* (Circular Técnica, No. 6). Sinop: Embrapa Agrossilvopastoril. Recuperado em 27 de novembro de 2025, de <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1100528/>
- Baron, D., Esteves Amaro, A. C., Pina, A., & Ferreira, G. (2019). An overview of grafting re-establishment in woody fruit species. *Scientia Horticulturae*, 243, 84-91. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.08.012>.
- Carvalho, P. E. R. (2014). *Espécies arbóreas brasileiras* (Vol. 5). Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.
- Desta, B., & Amare, G. (2021). Paclobutrazol as a plant growth regulator. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s40538-020-00199-z>.
- Fan, S., Zhang, D., Gao, C., Wan, S., Lei, C., Wang, J., Zuo, X., Dong, F., Li, Y., Shah, K., & Han, M. (2018). Mediation of flower induction by gibberellin and its inhibitor paclobutrazol: mRNA and miRNA integration comprises complex regulatory cross-talk in apple. *Plant & Cell Physiology*, 59(11), 2288-2307. PMID:30137602. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcy154>.
- Franzon, R. C., Gonçalves, R. S., Antunes, L. E. C., Raseira, M. C. B., & Trevisan, R. (2008). Surinam cherry propagation through grafting. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30(2), 488-491. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000200038>.
- Gonçalves, J. L. M., Santarelli, E. G., Moraes Neto, S. P., & Manara, M. P. (2000). Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In J. L. M. Gonçalves & V. Benedetti (Eds.), *Nutrição e fertilização florestal* (pp. 310-350). Piracicaba: IPEF.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. (2004). *Mapa de biomas do Brasil e mapa de vegetação do Brasil* (3. ed.). Rio de Janeiro.
- Lohmann, L. G. (2015). *Bignoniaceae*. In Jardim Botânico do Rio de Janeiro (Ed.), *Lista de espécies da flora do Brasil*. Rio de Janeiro: JBRJ. Recuperado em 27 de novembro de 2025, de <https://floradobrasil.jbrj.gov.br/>
- Mendes, G., Bittencourt, J. V. M., Muller, L. A. C., Moreno, M. A., & Freitas, M. L. M. (2020). Flowering acceleration in native Brazilian tree species for genetic conservation and breeding. *Annals of Forest Research*, 63(1), 39-52. <https://doi.org/10.15287/afr.2019.1751>.
- Nanda, A. K., & Melnyk, C. W. (2018). The role of plant hormones during grafting. *Journal of Plant Research*, 131(1), 49-58. PMID:29181647. <https://doi.org/10.1007/s10265-017-0994-5>.
- Negi, N. D., & Sharma, N. (2009). Effect of paclobutrazol application and planting systems on growth and production of peach (*Prunus persica*). *Indian Journal of Agricultural Sciences*, 79, 1010-1012.
- Oliveira, I. V. M., Cavalcante, I. H. L., Franco, D., & Martins, A. B. G. (2008). Influência da época do ano no sucesso da enxertia nas variedades de abacateiro Hass e Fortuna. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 30(4), 1162-1166. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452008000400053>.
- R Development Core Team. (2021). *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing.
- Santos, H. G., Jacovine, L. A. G., Soares, C. P. B., Paiva, H. N., Neves, J. C. L., & Silva, M. L. (2004). Quantificação do estoque de carbono e análise econômica de diferentes povoamentos florestais. *Revista Árvore*, 28(2), 381-390.
- Simões, I. M., da Silva, J. H. D., Silva, L. F., Borges, J. R., Carvalho, G. H., Farias, J., & Pereira, M. B. (2021). Grafting between species of the genus *Handroanthus* for the production of

multi-colored flower canopies. *Scientia Forestalis*, 49(132), 07.  
<https://doi.org/10.18671/scifor.v49n132.07>.

Taiz, L., & Zeiger, E. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal* (6. ed.). Porto Alegre: Artmed.

Xavier, A., Wendling, I., & Silva, R. L. (2013). *Silvicultura clonal: princípios e técnicas*. Viçosa: Editora UFV.

## CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

---

KFC: curadoria de dados, análise formal, investigação, metodologia, Escrita – Primeira Redação, Escrita – Revisão e Edição; GAS: conceituação, supervisão, metodologia, Escrita – Revisão e Edição; TMP: Validação, Escrita – Revisão e Edição; RFRN e FMAP: investigação; GAS: conceituação, Obtenção de Financiamento, Metodologia, Supervisão.