

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA
SUSTENTABILIDADE *CAMPUS* SOROCABA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO
DE RECURSOS RENOVÁVEIS

Lindomar Alves de Souza

Condução e manejo de miniestacas de *Trema micranthum* (L.) Blume

Sorocaba

2026

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA
SUSTENTABILIDADE *CAMPUS* SOROCABA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO
DE RECURSOS RENOVÁVEIS

Lindomar Alves de Souza

Condução e manejo de miniestacas de *Trema micranthum* (L.) Blume

Sorocaba

2026

Lindomar Alves de Souza

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis da Universidade Federal de São Carlos – *Campus Sorocaba*, para obtenção do título de Doutor.

Orientador: Prof. Dr. José Mauro Santana da Silva.

Coorientadora Prof.^a Dra. Kenia Michele de Quadros

Sorocaba

2026

Alves de Souza, Lindomar

CONDUÇÃO E MANEJO DE MINIESTACAS DE TREMA
MICRANTHUM (L.) BLUME / Lindomar Alves de Souza --
2026.
105f.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de São Carlos,
campus Sorocaba, Sorocaba

Orientador (a): José Mauro Santana da Silva

Banca Examinadora: Dra. Kenia Michele de Quadros, Dr.
Rômulo Môra, Dra. Francisca Alcivania, de Melo Silva,
Dr. Felipe Bueno Dutra, Dra. Franciane Andrade de
Pádua

Bibliografia

1. Propagação vegetativa. 2. Espécie nativa. 3. Clonagem
de espécies arbóreas . I. Alves de Souza, Lindomar. II.
Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -
CRB/8 6979

Presidente

Dra. Kenia Michele de Quadros

Universidade Federal de Rondônia *Campus* Rolim de Moura, Brasil.

Examinador externo

Dr. Rômulo Môra

Universidade Federal Rural do Pernambuco, Brasil.

Examinadora externa

Dra. Francisca Alcivania, de Melo Silva.

Universidade Estadual Paulista - UNESP, *Campus* Registro, Brasil.

Examinadora interna

Dr. Felipe Bueno Dutra

Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Brasil.

Examinadora interna

Dra. Franciane Andrade de Pádua

Universidade Federal de São Carlos, *Campus* Sorocaba, Brasil.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus

Agradeço, à Universidade Federal de São Carlos – *Campus Sorocaba*, instituição que me acolheu e proporcionou um ambiente acadêmico comprometido com a excelência, a ética e a formação científica de qualidade. Ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis, manifesto meu sincero reconhecimento pela oportunidade de crescimento intelectual e profissional. Agradeço a todos os docentes e servidores que, direta ou indiretamente, contribuíram para minha formação ao longo desta trajetória. Ao Laboratório de Sementes e Mudanças (LASEM), expresso minha gratidão pelo suporte técnico, pela infraestrutura e pelo ambiente colaborativo que foram essenciais para o desenvolvimento desta pesquisa. Cada etapa conduzida nesse espaço foi marcada por aprendizado, dedicação e troca de experiências.

Deixo aqui minha eterna gratidão aos meus orientadores, Prof. Dr. José Mauro Santana e Prof.^a Dra. Kenia Michele agradeço profundamente pela confiança, pela parceria e pelo excelente trabalho que desenvolvemos juntos. Sua orientação segura, seu rigor científico e seu comprometimento foram decisivos para a concretização desta tese. À minha comissão orientadora, registro meu reconhecimento pelas valiosas contribuições, sugestões e direcionamentos que enriqueceram este estudo.

À minha família, meu alicerce e minha maior fonte de força: aos meus pais, Rosa Amélia Alves de Souza e Semil de Souza, pelo amor incondicional, pelos ensinamentos e pelo apoio constante. Aos meus irmãos, Roselene Souza, Itamar Souza e Liomar Souza, pela presença e incentivo em todos os momentos. Em especial, à memória de minha querida avó, Rosa Teodoro, cuja sabedoria e carinho permanecem vivos em meu coração.

Por fim, registro que, ao longo da vida, é essencial cultivar amizades, pois são elas que se tornam nossa maior força nos momentos em que fraquejamos. A todos os meus amigos que me apoiaram nesta jornada, deixo meu sincero e eterno agradecimento. Deixo também registrado que, sem Deus, não teria conseguido concluir esta pesquisa, especialmente no que se refere à sua interpretação e à escrita desta tese. Agradeço, meu Senhor, por estar sempre comigo.

FIGURAS

Figura 1 Mapa de localização da Universidade Federal de São Carlos Campus de Sorocaba e do viveiro de mudas nativas Professor Carlos Alberto Martinelli de Souza, UFSCar <i>Campus</i> de Sorocaba 2025.	23
Figura 2 Preparo do sistema semi-hidrônico, A) tela polietileno preta 50% na drenagem, B) Preenchimento da telha com areia grossa lavada. C) estabelecimento de mudas de <i>T. micranthum</i> para formação do minijardim clonal. UFSCar Campus de Sorocaba, 2026.	24
Figura 3 Miniestaca apical de <i>T. micranthum</i> , com 8 cm de comprimento e folhas reduzidas em 50% do tamanho original, contendo gemas axilares distribuídas ao longo da miniestaca. UFSCar <i>Campus</i> de Sorocaba, 2026.	25
Figura 4 Inserção de quatro centímetros da miniestacas em substrato comercial a base de casca de pinus para o enraizamento em casa de vegetação. UFSCar, <i>Campus</i> Sorocaba, 2026.	26
Figura 5 Avaliação de sobrevivência e enraizamento de mudas em casa de vegetação. O círculo vermelho indica tubete com falha no enraizamento de miniestacas. Mudas com folhas túrgidas e coloração verde foram consideradas enraizadas. UFSCar <i>Campus</i> de Sorocaba, 2026.	27
Figura 6 Fluxograma das etapas de implantação e condução do minijardim clonal de <i>T. micranthum</i> , estabelecido em dois espaçamentos entre plantas (0,10 × 0,10 m e 0,10 × 0,20 m), incluindo a condução das minicepas, coletas sucessivas de miniestacas, enraizamento em casa de vegetação, avaliação do enraizamento e crescimento das mudas obtidas por propagação vegetativa. UFSCar, <i>Campus</i> Sorocaba, 2026.	28
Figura 7 Fluxograma do processo de produção e avaliação do enraizamento de miniestacas. (1) Minijardim clonal utilizado como fonte de propágulos; (2) obtenção de miniestacas nas posições apical (A) e intermediária (B); (3) preparo e estaqueamento das miniestacas; (4) enraizamento conduzido em casa de vegetação sob condições controladas; (5) avaliação do enraizamento e das características do sistema radicular; e (6) aclimação das mudas enraizadas. UFSCar <i>Campus</i> de Sorocaba, 2026.	36
Figura 8 Miniestaca apical de <i>T. micranthum</i> , com 8 cm de comprimento e folhas reduzidas em 50% do tamanho original, contendo gemas axilares distribuídas ao longo da miniestaca. UFSCar <i>Campus</i> de Sorocaba, 2026.	38
Figura 9 Manejo e seleção de brotos para a coleta de miniestacas de <i>T. micranthum</i> . A - Os círculos indicam brotos apicais aptos à produção de miniestacas. As minicepas foram mantidas entre 10 e 12 cm de altura, com estímulo à emissão de brotações laterais por manejo adequado da copa. B - Após as coletas, preservou-se parte da área foliar, garantindo a capacidade de rebrota e a emissão de novos brotos, sem comprometer o vigor vegetativo. UFSCar, <i>Campus</i> Sorocaba, 2026.	44
Figura 10 Dispersão da produtividade média de miniestacas de <i>T. micranthum</i> em função da idade da minicepa (dias após o plantio em minijardim clonal). Dados de cinquenta e quatro coletas sucessivas ao longo do tempo (início das coletas com 184 dias até 1006 dias). UFSCar <i>Campus</i> de Sorocaba, 2026.	49
Figura 11 Produtividade média de miniestacas de <i>T. micranthum</i> em função da idade da minicepa (dias após o plantio), com ajuste de regressão linear considerando temperatura e umidade relativas fixadas nas médias. A linha contínua representa o valor estimado pelo	

modelo e a faixa sombreada corresponde ao intervalo de confiança de 95%. UFSCar, <i>Campus Sorocaba</i> , 2026.	50
Figura 12 Variação da temperatura média (°C) e da umidade relativa média (%) do ar (painel superior) e da produtividade média de miniestacas de <i>T. micranthum</i> (painel inferior) em função da idade da minicepa (dias após o plantio no minijardim clonal) Os valores climáticos correspondem às médias mensais associadas às coletas realizadas entre maio de 2023 e agosto de 2025. UFSCar, <i>Campus Sorocaba</i> , 2026.	51
Figura 13 Matriz de correlação de Spearman (ρ) entre produtividade média de miniestacas (Prod. média), idade da minicepa em dias (Dias), temperatura média mensal (Temp. média) e umidade relativa média (Umid. média). O tamanho dos círculos é proporcional à magnitude de $ \rho $ e a cor indica o sentido da associação, variando de vermelho (negativa) a azul (positiva), conforme a escala (-1 a +1). Correlações próximas de zero indicam associação fraca ou inexistente. UFSCar, <i>Campus Sorocaba</i> , 2026.....	52
Figura 14 Boxplots da temperatura média mensal e da umidade relativa média em períodos de menor (maio a agosto) e maior temperatura (outubro a janeiro), com produtividade média de miniestacas de <i>T. micranthum</i> no eixo secundário. Os valores nas caixas indicam média \pm desvio-padrão. UFSCar, <i>Campus Sorocaba</i> , 2026.....	55
Figura 15 Variação do enraizamento (%) de miniestacas de <i>T. micranthum</i> em função da idade da minicepa (linha contínua), associada à temperatura média mensal (linha tracejada), no período de maio de 2023 a agosto de 2025. Viveiro de Mudanças Nativas Prof. Carlos Alberto Martinelli Souza, UFSCar, <i>Campus Sorocaba</i> , 2026.....	59
Figura 16 Variação do enraizamento (%) em porcentagem de miniestacas de <i>T. micranthum</i> em função da idade da minicepa (linha contínua), em conjunto com a umidade relativa média do ar (linha tracejada), ao longo do período experimental, de maio de 2023 a agosto de 2025. Viveiro de mudas nativas professor Carlos Alberto Martinelli Souza. UFSCar <i>Campus</i> de Sorocaba, 2025.	59
Figura 17 A relação entre a idade da minicepa (dias) e a porcentagem de enraizamento (%) foi avaliada por meio de regressão linear simples, ajustada pelo método dos mínimos quadrados ordinários, com estimativa do intervalo de confiança de 95%. UFSCar, <i>Campus</i> de Sorocaba, 2026.	60
Figura 18 Matriz de correlação de Spearman entre o enraizamento (%) de miniestacas de <i>T. micranthum</i> , a idade da minicepa (dias), a temperatura média mensal (°C) e a umidade relativa média do ar (%). UFSCar <i>Campus</i> de Sorocaba, 2025.	61
Figura 19 Boxplot da temperatura média mensal (°C) (esquerda) e da umidade relativa média (%) (direita), comparando os meses de menor temperatura (maio, junho, julho e agosto) e de maior temperatura (outubro, novembro, dezembro e janeiro), durante o monitoramento do enraizamento de miniestacas de <i>T. micranthum</i> em casa de vegetação. Dados mensais de maio de 2023 a agosto de 2025. UFSCar, <i>Campus Sorocaba</i> , 2026.	63
Figura 20 Demonstração do crescimento em altura e do desenvolvimento radicular de mudas enraizadas nos meses de maior temperatura e de menor temperatura. UFSCar, <i>Campus Sorocaba</i> , 2026.	65
Figura 21 Boxplot da porcentagem de enraizamento (%) de miniestacas apicais e intermediárias de <i>T. micranthum</i> aos 40 dias. As análises foram realizadas no R (versão 4.3.1 A homogeneidade foi verificada pelo teste de Levene ($\alpha = 0,05$) e, diante da ausência de normalidade e do número reduzido de repetições, as médias foram comparadas pelo teste de Mann–Whitney ($p \leq 0,05$). UFSCar, <i>Campus Sorocaba</i> , 2026.	66

Figura 22 Crescimento em altura (A) e diâmetro do coleto – DAC (B) de mudas oriundas de miniestacas apicais e intermediárias ao longo do período experimental. Os pontos indicam as médias e as barras verticais o erro padrão; linhas contínuas representam o tratamento apical e tracejadas o intermediário. A homogeneidade foi verificada pelo teste de Levene ($\alpha = 5\%$) e os dados foram analisados por modelos lineares mistos. UFSCar, <i>Campus Sorocaba</i> , 2025.	69
Figura 23 Miniestacas C (apical) e D (intermediária) de <i>T. micranthum</i> aos 40 dias após o estaqueamento. As mudas apicais evidenciam crescimento sem brotação de gemas, enquanto as intermediárias apresentam crescimento em altura associado à brotação de gemas laterais do ramo. UFSCar, <i>Campus Sorocaba</i> , 2025	70
Figura 24 Boxplot do Índice de Qualidade de Mudas (IQD) de <i>T. micranthum</i> oriundas de miniestacas apicais e intermediárias. O gráfico apresenta a distribuição dos valores médios por tratamento, com médias e desvios-padrão. UFSCar, <i>Campus Sorocaba</i> , 2025.	71
Figura 25 Comparação visual entre mudas provenientes de miniestacas apical (esquerda) e intermediária (direita) de <i>T. micranthum</i> . A imagem apresentada em altura (vertical cm) e comprimento (horizontal). local da foto viveiro de mudas nativas professor UFSCar <i>Campus</i> de Sorocaba, 2025.	72
Figura 26 Produtividade média mensal de miniestacas de <i>T. micranthum</i> em dois espaçamentos no minijardim clonal (0,10 × 0,10 m e 0,10 × 0,20 m), de maio de 2024 a maio de 2025. As linhas dentro das caixas representam a mediana e os limites superiores e inferiores com valor de P = 0,1475. Universidade Federal de São Carlos, <i>Campus</i> de Sorocaba, 2026.	74
Figura 27 Produtividade média individual por minicepa de <i>T. micranthum</i> em dois espaçamentos no minijardim clonal (0,10 × 0,10 m e 0,10 × 0,20 m). As caixas representam os intervalos interquartis (Q1–Q3); a linha central indica a mediana, e os pontos fora das caixas correspondem a valores atípicos. Observa-se que o espaçamento mais amplo (0,10 × 0,20 m) teve a maior produtividade média individual em relação ao espaçamento mais adensado (0,10 × 0,10 m). UFSCar, <i>Campus</i> de Sorocaba, 2026. ...	76
Figura 28 Distribuição da produtividade individual (densidade de miniestacas) de minicepas de <i>T. micranthum</i> em dois espaçamentos (0,10 × 0,10 m e 0,10 × 0,20 m), representada por curvas de densidade. Observa-se maior concentração e menor dispersão no espaçamento adensado, enquanto o mais amplo apresenta maior variação. A verificação da normalidade foi realizada (Shapiro–Wilk) e homogeneidade (Levene), sem diferença significativa ($p > 0,05$). UFSCar, <i>Campus Sorocaba</i> , 2026.	77
Figura 29 Teste de permutação para comparar a produtividade média de miniestacas nos espaçamentos 0,10 × 0,10 m e 0,10 × 0,20 m. O histograma apresenta as diferenças de médias obtidas em 10.000 permutações, simulando a hipótese nula. A linha tracejada indica a diferença observada (0,078). O valor de p (0,2601) demonstra ausência de diferença significativa entre os espaçamentos ao nível de 5%. UFSCar, <i>Campus Sorocaba</i> , 2025.	78
Figura 30 Porcentagem média de enraizamento de miniestacas de <i>T. micranthum</i> oriundas de minicepas cultivadas nos espaçamentos 0,10 x 0,10 m e 0,10 x 0,20 m. As caixas representam o intervalo interquartil (Q1–Q3), a linha central indica a mediana e os pontos externos correspondem a valores atípicos. Verifica-se comportamento semelhante entre os espaçamentos, sem diferença estatisticamente significativa. UFSCar, <i>Campus Sorocaba</i> , 2026.	81

Figura 31 Ranqueamento e seleção das minicepas de <i>T. micranthum</i> com alta produtividade média (Alta_prod) e baixa produtividade média (Baixa_prod), com base na produtividade média por coleta no minijardim clonal conduzido no espaçamento de 0,10 × 0,10 m, no período de maio de 2024 a maio de 2025. UFSCar, <i>Campus</i> de Sorocaba, 2026.	82
Figura 32 Distribuição espacial da produtividade média de miniestacas de por minicepa em minijardim clonal de <i>T. micranthum</i> conduzido no espaçamento de 0,10 × 0,10 m. Os círculos representam as minicepas, numeradas de 1 a 90 conforme sua posição no minijardim, enquanto o gradiente de cor indica a produtividade média de miniestacas obtida ao longo de 33 coletas, sendo tons mais escuros associados a maiores valores de produtividade. UFSCar, <i>Campus</i> de Sorocaba, 2026.	83
Figura 33 Ranqueamento e seleção das minicepas de <i>T. micranthum</i> com alta produtividade média (Alta_prod) e baixa produtividade média (Baixa_prod), considerando a produtividade média por coleta no minijardim clonal no espaçamento 0,10 × 0,20 m, de maio de 2024 a maio de 2025. A média das produtividades das minicepas de Alta_prod é 42% acima da de baixa_prod. UFSCar, <i>Campus</i> de Sorocaba, 2026. ...	84
Figura 34 Distribuição espacial da produtividade média de miniestacas de <i>T. micranthum</i> por minicepa em minijardim clonal conduzido no espaçamento de 0,10 × 0,20 m. Os círculos representam as minicepas, numeradas conforme sua posição no minijardim, e o gradiente de cor indica a produtividade média de miniestacas obtida ao longo de 33 coletas sucessivas, com tons mais escuros associados a maiores valores de produtividade. UFSCar, <i>Campus</i> de Sorocaba, 2026.	85
Figura 35 Produtividade média por coleta (A) e enraizamento médio por coleta (B) de minicepas classificadas como Alta_prod. e Baixa_prod. Os boxplots representam a distribuição das médias das cinco coletas sucessivas (C1–C5). O símbolo “×” indica a média aritmética e os valores apresentados correspondem à média ± desvio-padrão entre coletas. A análise estatística foi realizada por meio de modelos lineares generalizados mistos (GLMM). UFSCar, <i>Campus</i> de Sorocaba, 2026.	87
Figura 36 Produtividade média e enraizamento médio de miniestacas provenientes de minicepas de alta (<i>Alta_prod.</i>) e baixa (<i>Baixa_prod.</i>) produtividade em minijardim clonal no espaçamento 0,10 × 0,20 m, com base em cinco coletas sucessivas (intervalo de 15 dias). Os dados são apresentados por boxplots, com indicação da mediana, quartis e média (×), sendo os valores expressos como média ± desvio-padrão. A inferência estatística foi realizada por modelos lineares generalizados mistos (GLMM), assumindo distribuição Poisson para a produtividade e binomial para o enraizamento. UFSCar, <i>Campus</i> de Sorocaba, 2026.	88
Figura 37 Produtividade de miniestacas por área (Prod. por área m ²) em função do tempo em dias das minicepas conduzidas em minijardim clonal. Os pontos representam os valores observados por coleta e a linha contínua corresponde ao modelo de regressão polinomial de segundo grau ajustado. A equação do modelo, o coeficiente de determinação ajustado (R ² aj), o p-valor do teste F global e o coeficiente de correlação de Spearman (ρ), com seu respectivo p-valor. UFSCar, 2026.	90
Figura 38 Figura 43 Enraizamento (%) de miniestacas de <i>T. micranthum</i> em função do tempo em dias das minicepas. Os valores observados mantiveram-se elevados ao longo das coletas, sem efeito significativo da idade sobre a porcentagem de enraizamento (p = 0,134) e sem correlação significativa entre as variáveis (Spearman ρ = -0,333; p = 0,347). UFSCar, 2026.	93

ABREVIATURAS

UNESP- Universidade Estadual Paulista

UFSCar - Universidade Federal de São Carlos

SUMÁRIO

RESUMO	13
1 Introdução	14
2 Revisão de literatura	16
2.1 Propagação vegetativa de espécies florestais	16
2.2 Evolução da propagação vegetativa de espécies florestais.....	18
2.3 Espécie <i>Trema micranthum</i> (L.) Blume	21
3 Material e Métodos	22
3.1 Influência de fatores climáticos, fisiológicos sobre a produtividade de miniestacas, enraizamento e qualidade de mudas de <i>Trema micranthum</i> (L.) Blume;	29
3.1.1 Produtividade de miniestacas	29
3.1.2 Variáveis climáticas na análise da produtividade de miniestacas	30
3.1.3 Correlação da produtividade	31
3.1.4 Produtividade de miniestacas em períodos de maiores e menores temperaturas.	31
3.1.5 Análise estatística do enraizamento de miniestacas.	31
3.1.6. Validação de variáveis e construção da base analítica	32
3.1.7 Análise exploratória e visualização inicial.....	32
3.1.8 Modelagem estatística do efeito da idade (regressão linear e polinomial).....	33
3.1.9 Diagnóstico de resíduos e correção para autocorrelação/heterocedasticidade. (Newey–West).	33
3.1.10 Modelo múltiplo com variáveis climáticas e multicolinearidade.....	33
3.1.12 Análise de séries temporais (ARIMA e ARIMAX).	34
3.1.13 Comparação do enraizamento entre períodos de menor e maior temperatura.	35
3.2 Tipos de miniestacas: apicais e intermediárias	36
3.3 O espaçamento das minicepas na produtividade de miniestacas	38
3.3.1 Enraizamento de miniestacas	39
3.3.2 Ranqueamento das minicepas	40
3.4 Produtividade de segunda geração de <i>Trema micranthum</i> (L.) Blume em minijardim clonal	43
3.4.1 Produtividade média do minijardim clonal	45
3.4.4 Análise de regressão.....	47
3.4.5 Análise de correlação	48
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
4.1. Influência de fatores climáticos, fisiológicos sobre a produtividade de miniestacas, enraizamento e qualidade de mudas de <i>Trema micranthum</i> (L.) Blume;	48
4.1.1 Produtividade de miniestacas	48
4.1.2 Produtividade média dos períodos de menor e maior temperatura.	55
4.1.3 Enraizamento de miniestacas	58
4.2 Posição de miniestacas: apicais e intermediárias	66

4.2.1 Enraizamento de miniestas: apicais e intermediárias	66
4.2.2 Crescimento em altura e diâmetro de mudas (apicais e intermediárias).	68
4.2.3 Índice de Qualidade de Dickson.....	71
4.3 Espaçamentos entre minicepas.....	74
4.3.1 Produtividade por espaçamento	74
4.3.3 Enraizamento de miniestacas provenientes das minicepas mais produtivas do minijardim clonal.....	86
4.4 Produtividade de minicepas e enraizamento de miniestacas de segunda geração de <i>Trema micranthum</i> (L.) Blume em minijardim clonal	90
4.4.1 Comportamento da espécie sob cultivo em minijardim clonal	90
5 Conclusão	96
6 Referências Bibliográficas	97
Anexo I	105

RESUMO

A produção de mudas de espécies florestais nativas é essencial para atender à crescente demanda por restauração ecológica e conservação da biodiversidade. Nesse cenário, técnicas de propagação vegetativa têm sido amplamente investigadas como alternativa à produção seminal, sobretudo para espécies com limitações germinativas. Entre as espécies de interesse, destaca-se *Trema micranthum* (L.) Blume, uma espécie pioneira de rápido crescimento, caracterizada por baixa porcentagem de germinação via sementes, em torno de 35%. Além disso, a espécie apresenta potencial para uso medicinal, associado à presença de compostos como o canabidiol sem o THC em suas flores e frutos, o que amplia seu interesse científico e econômico. O objetivo foi avaliar o desempenho produtivo e o enraizamento de miniestacas de *Trema micranthum* em sistema de minijardim clonal, considerando a influência de fatores climáticos, tipos de miniestacas, espaçamento entre minicepas e indicadores de qualidade de mudas ao longo do tempo. O estudo foi conduzido na Universidade Federal de São Carlos *Campus* de Sorocaba entre 2023 e 2025, em sistema semi-hidropônico sob fertirrigação controlada, com dois tipos de espaçamentos entre minicepas 0,10 x 0,10 e 0,10 x 0,20 m e com coletas sucessivas de miniestacas. Foram aplicadas análises de regressão linear e múltipla com variáveis climáticas, correlação de Spearman, modelos de séries temporais (ARIMA/ARIMAX) e testes não paramétricos para comparação entre tratamentos. Os resultados evidenciaram variação temporal na produtividade associada à idade das minicepas e à temperatura, enquanto o enraizamento não diminuiu com a idade das minicepas. Não foram observadas diferenças estatisticamente significativas entre os espaçamentos quanto à produtividade e ao enraizamento de miniestacas. Verifica-se que a produtividade média foi de 4,1 miniestacas por minicepa por mês no espaçamento mais amplo e de 3,2 miniestacas por minicepa por mês no espaçamento de 0,10 x 0,10 m, sendo que, em todas as coletas realizadas, a porcentagem de enraizamento foi superior a 50%. Verificou-se variabilidade entre minicepas para produtividade média de miniestacas, permitindo a identificação de minicepas superiores e inferiores. Conclui-se que o manejo adequado do minijardim clonal e a seleção de indivíduos produtivos constituem estratégias eficientes para otimizar a produção clonal de *T. micranthum*, ampliando seu uso em restauração florestal e aplicações futuras de interesse econômico.

Palavras-chave: propagação vegetativa; espécie nativa; enraizamento de miniestacas; restauração ecológica; planta medicinal; canabidiol.

ABSTRACT

The production of seedlings of native forest species is essential to meet the increasing demand for ecological restoration and biodiversity conservation. In this context, vegetative propagation techniques have been widely investigated as an alternative to seed-based propagation, especially for species that exhibit germination limitations. Among the species of interest, *Trema micranthum* (L.) Blume stands out as a fast-growing pioneer species, characterized by a low germination rate from seeds, around 35%. In addition, the species shows potential for medicinal use, associated with the presence of compounds such as cannabidiol without THC in its flowers and fruits, which broadens its scientific and economic relevance. The objective of this study was to evaluate the productive performance and rooting of mini-cuttings of *Trema micranthum* in a clonal mini-garden system, considering the influence of climatic factors, types of mini-cuttings,

spacing between ministumps, and seedling quality indicators over time. The study was conducted at the Federal University of São Carlos, Sorocaba campus, between 2023 and 2025, in a semi-hydroponic system under controlled fertigation, with two spacing arrangements between ministumps (0.10×0.10 m and 0.10×0.20 m) and successive collections of mini-cuttings. Linear and multiple regression analyses with climatic variables, Spearman correlation, time series models (ARIMA/ARIMAX), and non-parametric tests were applied to compare treatments. The results indicate temporal variation in productivity associated with the age of ministumps and temperature, while rooting did not decrease with ministump age. No statistically significant differences were observed between spacings in terms of productivity and rooting of mini-cuttings. It was observed that the average productivity was 4.1 mini-cuttings per ministump per month in the wider spacing and 3.2 mini-cuttings per ministump per month in the 0.10×0.10 m spacing, with rooting percentages exceeding 50% in all collections performed. Variability among ministumps in terms of average mini-cutting productivity was also verified, allowing the identification of superior and inferior individuals. It is concluded that proper management of the clonal mini-garden and the selection of productive individuals are efficient strategies to optimize the clonal production of *T. micranthum*, expanding its use in forest restoration and future applications of economic interest.

Keywords: vegetative propagation of native species; mini-cutting rooting; ecological restoration; medicinal plant; cannabidiol.

1 Introdução

Com a aprovação da Lei de florestas nativas nº 12.651/2012, foi observado aumento da demanda por serviços e produtos florestais, especialmente no que se refere à produção de mudas destinadas à recuperação de áreas degradadas, revegetação, reflorestamentos com fins econômicos, restauração de matas ciliares e arborização, entre outros usos. Esse cenário evidencia a necessidade de desenvolvimento e aprimoramento de pesquisas e técnicas que otimizem a produção de mudas, assegurando custos competitivos e qualidade morfofisiológica adequada para atender aos objetivos dos plantios (Castro, 2011; Souza, 2024). Nesse contexto, a propagação vegetativa assexuada (clonal) apresenta-se como uma alternativa capaz de superar limitações associadas à produção de algumas espécies nativas via sementes, permitindo a produção contínua de mudas ao longo do ano, bem como a multiplicação de genótipos selecionados, independentemente do ciclo reprodutivo das plantas em campo (Xavier; Wendling; Silva, 2009).

Entre as técnicas de propagação vegetativa assexuada, a miniestaquia, derivada da estaquia convencional, destaca-se como método para a produção de mudas em larga escala, por utilizar brotações juvenis como propágulos (Ferriani; Zuffellato-Ribas; Wendling, 2010; Da luz et al., 2025). Inicialmente desenvolvida em pesquisas experimentais com espécies exóticas, a técnica teve papel fundamental na consolidação

da silvicultura clonal de *Eucalyptus* no Brasil, viabilizando a produção massiva de mudas e impulsionando significativamente a produtividade florestal (Freitas et al., 2017). Posteriormente, a miniestaquia passou a ser avaliada também para espécies florestais nativas, especialmente aquelas de interesse para a produção e restauração ecológica

Entretanto, a clonagem de espécies arbóreas tem desafios específicos que podem limitar o sucesso do enraizamento, como o controle hormonal, a constituição genética das plantas matrizes (minicepas), a presença de inibidores endógenos, bem como as condições nutricionais e hídricas do material vegetal (Alfenas et al., 2009; Xavier; Wendling; Silva, 2013). Soma-se a isso a influência do grau de maturação fisiológica dos propágulos, da época de coleta e de variáveis ambientais, como temperatura, luminosidade e umidade, que interferem diretamente na eficiência da propagação vegetativa (Xavier; Wendling; Silva, 2009).

Diante da crescente demanda por mudas nativas para programas de restauração ambiental e da limitada disponibilidade de sementes cuja produção é, em geral, anual e irregular a implantação de minijardins clonais em viveiro tem se mostrado uma alternativa viável e estratégica para a condução de plantas de interesse (Dias, 2011; Carvalho et al., 2020). Nesse sentido, diversos estudos têm sido conduzidos com o objetivo de avaliar fatores que influenciam o sucesso da miniestaquia em espécies florestais, com destaque para o tipo e a posição das miniestacas utilizadas como propágulos (Pereira et al., 2021). A escolha adequada da miniestaca é determinante para a eficiência do enraizamento, estando diretamente relacionada às condições fisiológicas da planta matriz (minicepa), ao balanço hormonal, ao teor de carboidratos e ao gradiente de juvenilidade ao longo da brotação (Fachinello; Hoffmann; Nachtigal, 2005; Freitas et al., 2017; Pereira et al., 2021).

Entre as espécies nativas da Mata Atlântica com potencial para uso medicinal com registro de presença de canabidiol em suas flores e frutos e para projetos de restauração ecológica, destaca-se *Trema micranthum* (L.) Blume, amplamente indicada para a recomposição de áreas degradadas em razão do rápido crescimento, da elevada capacidade de colonização e da adaptação a diferentes condições ambientais. *T. micranthum* é classificada como uma espécie pioneira com ampla distribuição geográfica, ocorrendo desde o México, na América do Norte, até a América do Sul (Lorenzi, 2005). Pertencente à família Cannabaceae, pode atingir até 20 metros de altura na fase adulta (Lubke, et al., 2021). Popularmente conhecida como periquiteira, grandiúva ou pau-pólvora (Lorenzi, 2005), e seus frutos considerados atrativos dispersos por animais e aves.

Diante dessas características, *T. micranthum* tem despertado crescente interesse científico, com estudos voltados tanto à produção de mudas para fins de restauração ecológica quanto à exploração de seu potencial medicinal. Contudo, um dos principais gargalos para a produção de mudas em viveiro pelo método seminal está associado à dormência de suas sementes, a qual compromete a germinação uniforme e limita a disponibilidade de propágulos em escala comercial, reforçando a necessidade de alternativas tecnológicas, como a propagação vegetativa.

Objetivo Geral

Avaliar o desempenho produtivo de minicepas e o enraizamento de miniestacas de *Trema micranthum* em sistema de minijardim clonal, considerando a influência de fatores climáticos, tipos de miniestacas, espaçamento entre minicepas e indicadores de qualidade de mudas ao longo do tempo.

Objetivo específicos

- ✓ Verificar os fatores climáticos que influenciam na produção e enraizamento de miniestacas de *Trema micranthum* ao longo do tempo;
- ✓ Avaliar quais tipos de miniestacas de *Trema micranthum* tem o melhor índice de qualidade de mudas.
- ✓ Avaliar o espaçamento entre minicepa no minijardim para maximizar a produtividade de miniestacas de *Trema micranthum* em minijardim clonal;
- ✓ Mensurar a produtividade de minicepas de segunda geração e o enraizamento de miniestacas de *Trema micranthum* em minijardim clonal;

2 Revisão de literatura

2.1 Propagação vegetativa de espécies florestais

A propagação vegetativa assexuada tem sido um importante mecanismo para a expansão e o aprimoramento da silvicultura clonal no país, contribuindo para o aumento da produtividade e da qualidade dos povoamentos, especialmente de espécies do gênero *Eucalyptus*. Nesse cenário, no caso das espécies arbóreas nativas, os estudos desenvolvidos até o momento indicam a necessidade de uma compreensão mais

aprofundada das finalidades das técnicas de propagação, bem como de sua adequação aos diferentes propósitos de uso (Sales, 2022).

Diante dessa necessidade, a propagação vegetativa de espécies nativas mostra-se essencial para o aumento da produtividade e para a aceleração dos processos produtivos dessas espécies (Souza, 2022). Nesse contexto, a propagação vegetativa assexuada configura-se como importante alternativa, especialmente para espécies que possuem limitações de propagação por sementes. Apesar disso, o número de pesquisas ainda é reduzido frente à elevada diversidade de espécies nativas com potencial de uso, havendo lacunas significativas quanto à viabilidade técnica e econômica da propagação vegetativa em condições de campo. Embora já se reconheça a capacidade de enraizamento em diferentes níveis taxonômicos, como famílias, gêneros e espécies, o conhecimento disponível permanece fragmentado e insuficiente para subsidiar protocolos amplamente aplicáveis (Stuepp et al., 2018).

Como estratégia para viabilizar esse processo, a formação de minijardins clonais tem ocorrido de duas principais formas: a partir de mudas seminais jovens, ainda nos estágios iniciais de desenvolvimento (antes da aclimatação ou rustificação), com poucos meses após a germinação, ou a partir de mudas oriundas de propagação assexuada, que têm sido amplamente utilizadas como fonte de propágulos de espécies arbóreas nativas (Pereira et al., 2021). A principal justificativa para essa estratégia reside no fato de que a juvenildade desses propágulos proporciona, em geral, maior eficiência de enraizamento e maior vigor radicular, quando comparados às limitações inerentes à propagação vegetativa de propágulos provenientes de material fisiologicamente maduro (Da luz et al., 2025; Xavier et al., 2013).

Nesse contexto de escolha e manejo do material vegetal, a seleção de espécies florestais nativas para a propagação vegetativa deve estar associada a um propósito claro e estratégico, o que pode incluir a presença de dormência das sementes, a baixa disponibilidade de material seminal, as reduzidas taxas de germinação em viveiro ou, ainda, estratégias de multiplicação voltadas à conservação das espécies e à restauração de ecossistemas degradados (Lima et al., 2008; Campos et al., 2024). A propagação vegetativa, entretanto, pode, em alguns casos, implicar custos elevados e exigir alto nível de conhecimento técnico para sua execução. São necessários conhecimentos prévios sobre a condução de minijardins clonais, a coleta de brotações e o controle das condições ambientais, especialmente temperatura e umidade, durante o processo de enraizamento das miniestacas. (Xavier; Wendling, Silva, 2009; Cunha et al., 2009; Da luz et al., 2025).

Como reflexo dessas demandas técnicas, diversas espécies da Mata Atlântica já contam com estudos iniciais sobre a propagação vegetativa por miniestaquia no Brasil, desenvolvidos nos últimos anos com diferentes finalidades, como a conservação e a produção florestal. Entre essas espécies destacam-se a erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.), o pinheiro-brasileiro (*Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze), o pau-brasil (*Caesalpinia echinata* (Lam.) Gagnon, H.C.Lima & G.P.Lewis), a aroeira (*Schinus terebinthifolius* Raddi), o pau-de-leite (*Sapium glandulatum* (L.) Morong), a corticeira-do-banhado (*Erythrina falcata* Benth), o cedro-rosa (*Cedrela fissilis* Vell.), o mogno (*Swietenia macrophylla* king), o angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan), a imbuia (*Ocotea porosa* (Nees & Mart.) Barroso) e o jequitibá-rosa (*Cariniana estrellensis* (Raddi) Kuntze), entre outras (Xavier et al., 2013; Souza et al., 2014; Silva, 2024). Esses estudos evidenciam, contudo, a carência de informações consolidadas acerca dos métodos e das técnicas de propagação vegetativa, uma vez que cada espécie nativa e até mesmo espécies pertencentes ao mesmo gênero pode ter respostas distintas às técnicas de clonagem.

2.2 Evolução da propagação vegetativa de espécies florestais

A propagação vegetativa, também denominada assexuada ou clonal, consiste na multiplicação de indivíduos a partir de porções vegetativas das plantas, devido à capacidade de regeneração dos órgãos vegetativos, tendo como finalidade a obtenção de uma planta idêntica à planta matriz (Xavier et al., 2013; Hartmann et al., 2011). Nos últimos anos, observa-se aumento do interesse pela silvicultura clonal, em função das vantagens do processo e da possibilidade de reduzir problemas fitossanitários, minimizar a heterogeneidade e elevar a produtividade dos plantios florestais (Xavier et al., 2013). Além disso, a propagação vegetativa contribui para diminuir limitações relacionadas à multiplicação por sementes, garantindo produção de mudas ao longo do ano e favorecendo a seleção e multiplicação rápida de indivíduos superiores, o que resulta em maior uniformidade e produtividade dos plantios (Silva et al., 2024).

Nesse contexto, as técnicas de propagação vegetativa se consolidam como alternativa importante para superar dificuldades na multiplicação de espécies nativas, com aplicação tanto em sistemas comerciais quanto no resgate e conservação de recursos genéticos florestais (Dias et al., 2012). Quando a finalidade é ambiental, recomenda-se o

uso do maior número possível de matrizes na coleta de propágulos, evitando a formação de grande quantidade de clones originados de um único indivíduo (Stuepp, 2017). Por outro lado, quando o objetivo é produtivo, a seleção das matrizes se baseia principalmente na avaliação fenotípica de indivíduos adultos, considerando as características desejadas (Stuepp, 2017).

Entre as técnicas de clonagem mais difundidas, destaca-se a estaquia, que consiste no uso de caules, raízes ou folhas coletadas de uma planta matriz selecionada conforme características de interesse, visando preservar no novo indivíduo as características da planta mãe (Pimenta et al., 2017; Wendling et al., 2017). A estaquia se caracteriza como um método rápido, de execução simples e amplamente utilizado em espécies com maior potencial de enraizamento (Hartmann et al., 2011), além de ser viável tanto para espécies comerciais quanto para espécies nativas (Dias et al., 2012). No Brasil, os trabalhos pioneiros com enraizamento de *Eucalyptus* em nível experimental datam de 1975 (Xavier et al., 2013). Ainda assim, o êxito da estaquia depende da capacidade de formação de raízes adventícias e da qualidade do sistema radicular, e nem todas as espécies respondem de forma satisfatória, principalmente quando há limitações relacionadas à juvenilidade e ao vigor fisiológico do material propagativo. Nessa técnica, a dificuldade em controlar e padronizar o grau de juvenilidade das estacas constitui um dos principais entraves para alcançar elevados índices de enraizamento. (Hartmann et al., 2011).

Diante dessas limitações, técnicas mais modernas foram desenvolvidas para otimizar o enraizamento, destacando-se a miniestaquia, que surgiu na década de 1990 como aprimoramento da estaquia, inicialmente voltada à propagação clonal de *Eucalyptus* (Brondani, 2012; Alfenas et al., 2009; Xavier et al., 2013; Wendling et al., 2017). Essa técnica se baseia no uso de brotações oriundas de mudas obtidas por estaquia ou por sementes, coletadas em intervalos regulares e enraizadas em condições controladas, resultando em mudas com maior eficiência de formação radicular (Alfenas et al., 2009; Dias et al., 2012). Em comparação à estaquia convencional, a miniestaquia promove maior juvenilidade dos propágulos e permite maior controle fitossanitário e nutricional das minicepas, o que favorece a obtenção de brotações com melhor qualidade fisiológica para o enraizamento (Ramos et al., 2016; Wendling et al., 2017). Além disso, verifica-se redução da área necessária para formação do minijardim clonal, aumento da produtividade de brotos por área e, em muitos casos, menor necessidade de reguladores vegetais (Wendling et al., 2017).

O minijardim clonal, por sua vez, consiste em um conjunto de plantas jovens, de origem clonal ou seminal, denominadas minicepas, mantidas em ambiente protegido sob manejo de poda e nutrição controlados, com o objetivo de fornecer propágulos juvenis para produção contínua de miniestacas (Carvalho; Silva, 2023; Xavier et al., 2013; Fernandes et al., 2018; Stuepp, 2017). Esse sistema pode ser implantado em diferentes modelos, como tubetes, vasos ou sistema semi-hidropônico em canaletão, sendo este último frequentemente indicado por proporcionar maior produtividade, melhor qualidade das brotações e produção de propágulos durante todo o ano (Wendling et al., 2017). Estudos também confirmam a eficiência da miniestaquia para diversas espécies florestais nativas, com elevados percentuais de enraizamento, reforçando seu potencial para programas de produção de mudas e conservação genética (Xavier et al., 2003; Lima et al., 2008; Dias et al., 2012; Silva et al., 2024).

Por fim, torna-se essencial compreender os fatores que influenciam a formação de raízes adventícias, pois esses elementos determinam o sucesso ou fracasso da produção de mudas via enraizamento de miniestacas (Ramos, et al., 2016). Entre os principais fatores envolvidos, destacam-se genótipo, condição fisiológica e nutricional da planta doadora, época e posição de coleta, juvenilidade, idade da matriz, uso de reguladores vegetais, sanidade e condições ambientais, como luminosidade, temperatura, umidade e substrato (Xavier et al., 2013; Hartmann et al., 2011). Além disso, a capacidade de enraizamento varia significativamente entre espécies, permitindo classificá-las conforme o potencial rizogênico, desde espécies de fácil enraizamento até aquelas de difícil resposta, mesmo sob estímulos e condições de cultivo controladas (Xavier et al., 2013; Latoh, 2019).

A evolução da propagação vegetativa de espécies florestais evidencia um avanço técnico contínuo, partindo de métodos clássicos de clonagem, como a estaquia, até estratégias mais eficientes, como a miniestaquia, que ampliam o controle sobre a juvenilidade dos propágulos, a sanidade e a nutrição das plantas matrizes, resultando em maior uniformidade e qualidade das mudas produzidas. Dessa forma, o domínio dessas técnicas e dos fatores que condicionam o enraizamento adventício torna-se fundamental para viabilizar a produção em larga escala, apoiar programas de conservação e restauração ambiental e fortalecer sistemas produtivos florestais, especialmente no contexto de espécies nativas, nas quais as limitações de enraizamento ainda representam um dos principais desafios.

2.3 Espécie *Trema micranthum* (L.) Blume

A espécie *Trema micranthum* (L.) Blume pertence à família Cannabaceae e, no Brasil, possui registro de ocorrência em todos os biomas (Souza; Lorenzi, 2008). Encontra-se amplamente distribuída, sobretudo em formações secundárias, evidenciando elevada plasticidade ecológica. Trata-se de uma espécie pioneira, arbórea, perenifólia ou semidecídua, que pode atingir entre 5 e 20 m de altura, com tronco de 20 a 40 cm de diâmetro. As folhas são ovaladas, com base assimétrica, bordos serrilhados e face superior áspera. A espécie tem inflorescências verde-esbranquiçadas, com flores masculinas, femininas e hermafroditas na mesma planta, característica considerada atípica e de interesse biológico (Stolarski et al., 2018).

A floração é contínua ou quase anual em algumas regiões, ocorrendo concomitantemente ao crescimento vegetativo, sendo comum a presença simultânea de flores e frutos em diferentes estágios fenológicos. A polinização é realizada principalmente por insetos, especialmente abelhas, com participação ocasional do vento (Torres, 1996; Lubke, 2016).

O fruto de *T. micranthum* é uma drupa carnosa, indeiscente, contendo uma única semente. A dispersão ocorre predominantemente por zoocoria, com destaque para aves, morcegos e primatas frugívoros. No entanto, suas sementes apresentam baixa taxa de germinação, em torno de 35%, o que dificulta sua rápida multiplicação em viveiros pelo método seminal (Pederneiras et al., 2011). Do ponto de vista ecológico, *T. micranthum* exerce papel fundamental em processos de sucessão ecológica, sobretudo em ambientes degradados. A espécie contribui para a melhoria das condições edáficas por meio da rápida deposição de serrapilheira, ciclagem de nutrientes e sombreamento, favorecendo o estabelecimento de espécies secundárias e clímax (Ribas; Kageyama, 2006; Melo, 2006). Além disso, tem elevada atratividade para a fauna, reforçando sua importância na conectividade de fragmentos florestais e na manutenção do fluxo gênico (Lorenzi, 2002; Carvalho, 2003).

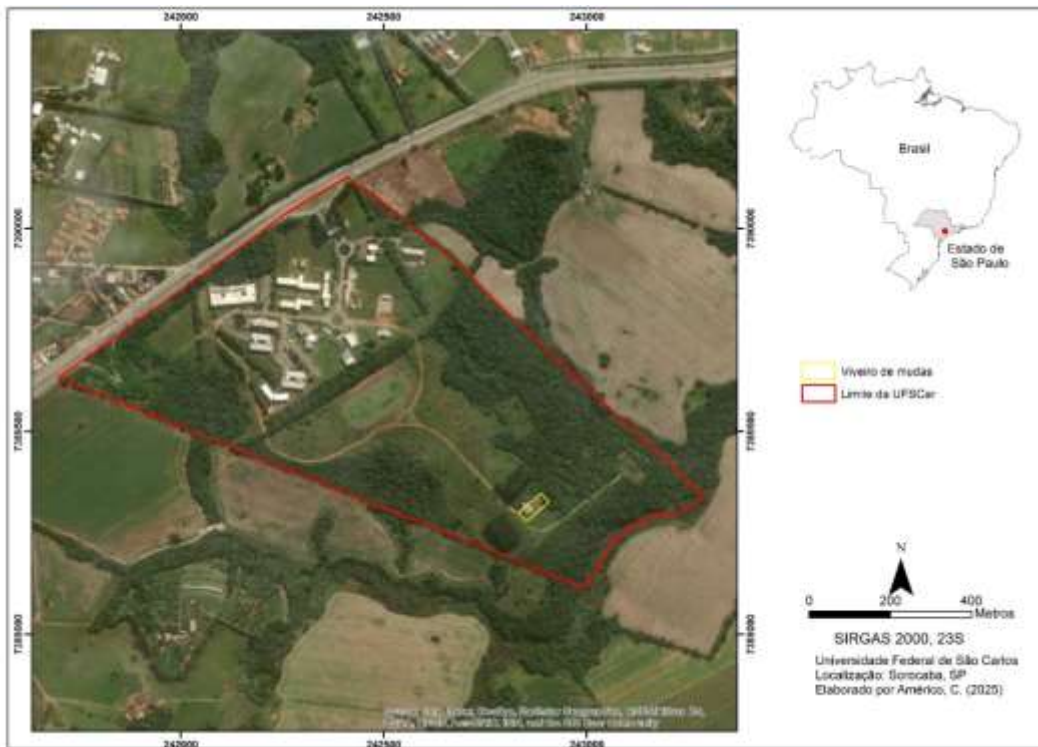
Embora ainda pouco explorada comercialmente em larga escala, *T. micranthum* possui crescente valorização no contexto da economia ambiental. Seu principal valor econômico está associado à produção de mudas para programas de restauração ecológica, integrando políticas públicas como o Programa de Regularização Ambiental (PRA) e o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG), sendo uma das espécies indicada para os estágios iniciais de projetos de restauração (Stolarski et al., 2018).

Além de sua relevância ecológica e silvicultural, estudos recentes têm indicado o potencial medicinal da espécie, com a identificação de compostos bioativos, incluindo canabinoides. Trabalhos recentes relataram a presença de tricomas glandulares e compostos como CBD, CBDA, THC e THCA-A em folhas, frutos e inflorescências de *T. micranthum*, embora em concentrações inferiores às observadas em *Cannabis sativa* (Argibay; 2024; Ribeiro et al., 2024). Esses resultados reforçam a importância do desenvolvimento de estratégias eficientes de produção de mudas em larga escala, visando atender futuras demandas comerciais e científicas relacionadas ao uso medicinal da espécie.

Diante do conjunto de atributos ecológicos, produtivos e funcionais de *T. micranthum*, a propagação vegetativa dessa espécie assume papel estratégico para atender a diferentes finalidades, que incluem a produção de mudas em escala, a restauração de ecossistemas degradados e a viabilização de usos econômicos emergentes. A adoção de técnicas clonais, como a miniestaquia, possibilita a multiplicação de genótipos com desempenho superior, maior uniformidade e previsibilidade no campo, aspectos essenciais tanto para projetos de restauração ambiental quanto para sistemas produtivos. Além disso, os recentes avanços no conhecimento sobre o potencial medicinal da espécie, especialmente relacionados à presença de canabinoides, reforçam a necessidade de métodos eficientes de propagação vegetativa, capazes de garantir oferta contínua de material vegetal, qualidade genética e rastreabilidade, elementos fundamentais para futuras aplicações farmacêuticas e biotecnológicas.

3 Material e Métodos

O estudo foi realizado no viveiro de mudas nativas Professor Carlos Alberto Martinelli de Souza, em anexo ao Laboratório de Sementes e Mudas Florestais (LASEM) na Universidade Federal de São Carlos *Campus* de Sorocaba, localizado na Rodovia João Lemes dos Santos km 110 (Figura 1).



Fonte: autores,2026

Figura 1 Mapa de localização da Universidade Federal de São Carlos Campus de Sorocaba e do viveiro de mudas nativas Professor Carlos Alberto Martinelli de Souza, UFSCar *Campus* de Sorocaba 2025.

O clima da região é classificado como Cfa (subtropical úmido), com chuvas concentradas no verão e temperaturas médias entre 24–35 °C, enquanto no inverno as médias variam entre 11–20 °C, segundo a classificação de (Beck et al., 2018). O município é cortado ao norte pelo Trópico de Capricórnio, sendo assim corresponde a uma área de transição entre os climas Tropicais e Subtropicais. Do ponto de vista dinâmico a região é influenciada por sistemas tropicais e extratropicais, sendo atingida por massas de ar tropicais e polares, passagens frontais, instabilidades e a Zona de Convergência do Atlântico Sul que, no verão, confere o aumento dos totais de chuva (Santos, 2023).

O minijardim clonal de *Trema micranthum* (L.) Blume foi implantado em novembro de 2022, a partir de mudas doadas pela empresa Auren Energia S.A., produzidas por propagação sexual (sementes) a partir de matrizes marcadas em sete municípios do estado de São Paulo: Promissão, Lins, Guaiçara, Sabino, Cafelândia, Adolfo e Sales. Para o estudo foram implantadas mudas de até noventa dias de idade, com altura padronizada de 12-15 cm de altura. As mudas foram enumeradas em sequências

crecente de 1 a 90, e após trinta dias do plantio no minijardim, ocorreu a poda da dominância apical a 10 cm da base do coleto de todas as plantas, estimulando a formação de brotações laterais. O plantio das minicepas foi realizado em uma única etapa, no mês de novembro de 2023, com a implantação de minijardins clonais nos espaçamentos de $0,10 \times 0,10$ m e $0,10 \times 0,20$ m entre plantas.

Em ambos os espaçamentos, adotou-se o sistema de cultivo semi-hidrônico, utilizando canteiro suspenso de 0,90 m de largura por 6,0 m de comprimento, revestido com tela de polietileno para drenagem e preenchido com areia grossa como substrato. As minicepas foram conduzidas a pleno sol (Figura 2).



Fonte: autor, 2026

Figura 2 Preparo do sistema semi-hidrônico, A) tela polietileno preta 50% na drenagem, B) Preenchimento da telha com areia grossa lavada. C) estabelecimento de mudas de *T. micranthum* para formação do minijardim clonal. UFSCar *Campus* de Sorocaba, 2026.

A fertirrigação foi realizada por gotejamento, em quatro aplicações diárias, totalizando uma lâmina de irrigação de 8 mm dia^{-1} . A solução nutritiva utilizada continha macro e micronutrientes na seguinte composição : N (150 mg L^{-1}), P (60 mg L^{-1}), K (150 mg L^{-1}), Ca (80 mg L^{-1}), Mg ($0,05 \text{ mg L}^{-1}$), S (60 mg L^{-1}), Fe (2 mg L^{-1}), B ($0,4 \text{ mg L}^{-1}$), Mn ($0,6 \text{ mg L}^{-1}$), Mo ($0,02 \text{ mg L}^{-1}$) e Zn ($0,3 \text{ mg L}^{-1}$), (Adaptado de Higashi; Silveira, 2004). As coletas de miniestacas (brotos) foram realizadas de forma contínua a partir dos primeiros 30 dias após a implantação da área experimental. No entanto, as avaliações de produtividade e enraizamento tiveram início somente aos 182 dias após o plantio, em maio de 2023, estendendo-se até agosto de 2025. Durante esse período, os intervalos entre

coletas variaram de 12 a 30 dias. O tamanho das miniestacas foi padronizado em 8 cm, utilizando-se apenas a porção apical dos brotos, mantendo-se duas folhas reduzidas em 50% de seu tamanho original (Figura 3).



Fonte: autor, 2025

Figura 3 Miniestaca apical de *T. micranthum*, com 8 cm de comprimento e folhas reduzidas em 50% do tamanho original, contendo gemas axilares distribuídas ao longo da miniestaca. UFSCar *Campus* de Sorocaba, 2026.

O recipiente utilizado foi o tubete de plástico de 280 cm³. As miniestacas foram enraizadas em substrato comercial (MecPlant C2 florestal), composto por casca de pinus, vermiculita, calcário, NPK, superfosfato simples (granulometria de 6 mm), umidade de 60%, capacidade de retenção de água (CRA) de 150% (m/m) e capacidade de troca de cátions (CTC) de 200 mmolc/kg. Após o envasamento dos tubetes as miniestacas foram inseridas no substrato, mantendo sempre de uma a duas gemas axilares (Figura 4).



Fonte: autor, 2025

Figura 4 Inserção de quatro centímetros da miniestacas em substrato comercial a base de casca de pinus para o enraizamento em casa de vegetação. UFSCar, *Campus Sorocaba*, 2026.

As miniestacas permaneceram em casa de vegetação, sob sistema de nebulização intermitente, com lâmina de irrigação de 5 mm dia⁻¹, até o enraizamento adventício. Durante o experimento, a temperatura e a umidade relativa do ar foram mensuradas na casa de vegetação por meio de um termohigrômetro digital (modelo TempU03).

A avaliação do estudo ocorreu de forma contínua, sendo as coletas realizadas conforme o crescimento vegetativo dos brotos nas minicepas, e os dados foram posteriormente organizados em planilha eletrônica do Microsoft Excel 2019, discriminados por mês e data de coleta. Foi possível gerar informações sobre a produtividade média por coleta e mensal ao longo dos períodos de avaliação (2023, 2024 e 2025). Após quarenta dias da entrada das miniestacas na casa de vegetação, foi realizada avaliação não destrutiva do enraizamento, considerando-se como vivas as miniestacas

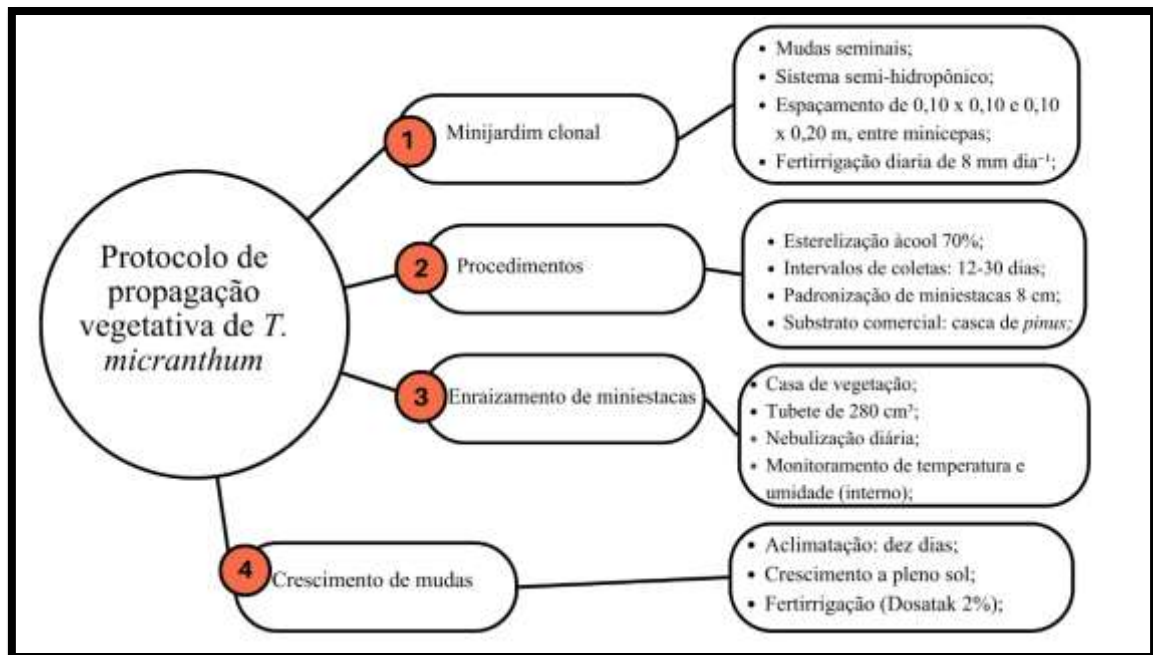
que mantinham tecidos verdes e turgidez ou suas raízes estavam visíveis no final do tubete (Figura 5).



Fonte: autor 2026

Figura 5 Avaliação de sobrevivência e enraizamento de mudas em casa de vegetação. O círculo vermelho indica tubete com falha no enraizamento de miniestacas. Mudas com folhas túrgidas e coloração verde foram consideradas enraizadas. UFSCar *Campus* de Sorocaba, 2026

As miniestacas enraizadas foram transferidas para casa de sombra (50% de luminosidade) por 10 dias, sob irrigação em quatro aplicações diárias (lâmina de 6 mm dia⁻¹). Em seguida, foram conduzidas ao setor de crescimento e aclimação a pleno sol, permanecendo por 70 dias sob fertirrigação com lâmina diária de 12 mm dia⁻¹, realizada com injetor hidráulico Dosatak® (Kobratec, Brasil), regulado para 2 % de injeção da solução nutritiva. O sistema operou de forma proporcional, utilizando apenas a pressão da água, o que assegurou distribuição homogênea dos fertilizantes. A Figura 6 ilustra o fluxo metodológico empregado na propagação vegetativa de *T. micranthum* ao longo do estudo.



Fonte: autor, 2026

Figura 6 Fluxograma das etapas de implantação e condução do minijardim clonal de *T. micranthum*, estabelecido em dois espaçamentos entre plantas (0,10 × 0,10 m e 0,10 × 0,20 m), incluindo a condução das minicepas, coletas sucessivas de miniestacas, enraizamento em casa de vegetação, avaliação do enraizamento e crescimento das mudas obtidas por propagação vegetativa. UFSCar, Campus Sorocaba, 2026.

3.1 Influência de fatores climáticos, fisiológicos sobre a produtividade de miniestacas, enraizamento e qualidade de mudas de *Trema micranthum* (L.) Blume;

Para avaliar a influência dos fatores climáticos e ambientais sobre a produtividade e o enraizamento de miniestacas no período de 2023 a 2025, utilizou-se os dados das coletas e dos manejos realizados nas minicepas cultivadas no espaçamento de 0,10 × 0,10 m entre plantas. A produtividade e o enraizamento foram monitorados ao longo de 54 coletas sucessivas realizadas durante o período experimental. A idade da minicepa foi expressa em dias após o plantio, sendo calculada como o intervalo entre a data de plantio (21/11/2022) e a data de cada coleta, e considerada como variável temporal contínua nas análises.

Nesse contexto, as coletas foram tratadas como observações sequenciais no tempo, não configurando tratamentos experimentais, uma vez que não houve repetição dentro de cada coleta. Em razão dessa estrutura dos dados, não foram empregados testes de comparação de médias, sendo adotada uma abordagem baseada em modelos de regressão e análises exploratórias de correlação para a avaliação da influência temporal e ambiental sobre a produtividade e o enraizamento de miniestacas no espaçamento 0,10 × 0,10 m entre plantas.

3.1.1 Produtividade de miniestacas

A produtividade média de miniestacas (PM) foi determinada pela razão entre o número total de miniestacas coletadas (Nmc) e o número de minicepas no minijardim clonal (Nmp), dentro de cada coleta avaliado (Equação 1).

Equação (1)

$$PM = \frac{Nmc}{Nmp}$$

Onde:

PM = produtividade média de miniestacas (miniestacas minicepa⁻¹ coleta⁻¹);

Nmc = número total de miniestacas coletadas no período;

Nmp = número de minicepas do minijardim clonal (por espaçamento);

Inicialmente, foi realizada análise exploratória dos dados por meio de gráficos de dispersão entre a produtividade média e a idade das minicepas (dias). A idade das minicepas foi contabilizada a partir do plantio no sistema de minijardim clonal.

Em seguida, foram ajustados modelos de regressão linear simples e polinomial de segunda ordem, considerando a produtividade média como variável dependente e a idade da minicepa como independente. A seleção do modelo mais parcimonioso foi realizada com base no critério de informação de Akaike (AIC), no critério de informação Bayesiano (BIC), no coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado) e na comparação entre modelos aninhados por meio de análise de variância (ANOVA).

Após a seleção do modelo, os pressupostos estatísticos foram avaliados por meio da análise dos resíduos, incluindo o teste de normalidade de Shapiro–Wilk, o teste de heterocedasticidade de Breusch–Pagan e o teste de autocorrelação serial de Durbin–Watson. Considerando a presença de heterocedasticidade e autocorrelação, características inerentes a séries temporais, a inferência estatística dos coeficientes foi realizada utilizando erros-padrão robustos de Newey–West.

3.1.2 Variáveis climáticas na análise da produtividade de miniestacas

Para avaliar a influência das condições ambientais sobre a produtividade de miniestacas, foram incorporadas ao banco de dados as variáveis temperatura média mensal e umidade relativa média mensal, referentes aos meses correspondentes às coletas. A temperatura média mensal associada à produtividade de miniestacas foi obtida a partir de medições realizadas na estação meteorológica da Universidade Federal de São Carlos *Campus* de Sorocaba. Foram ajustados modelos de regressão múltipla considerando a produtividade média como variável dependente e a idade da minicepa, a temperatura média e a umidade relativa como variáveis explicativas, incluindo, quando pertinente, termos de interação entre as variáveis climáticas.

Os modelos com inclusão das variáveis ambientais foram comparados ao modelo base por meio do critério de informação de Akaike (AIC). A multicolinearidade entre as variáveis explicativas foi avaliada por meio do fator de inflação da variância (VIF). A inferência estatística dos coeficientes foi conduzida utilizando erros-padrão robustos de Newey–West, considerando a dependência temporal entre as observações.

De forma complementar, foi realizada análise gráfica da dinâmica temporal da produtividade média em conjunto com as variáveis climáticas. Para essa etapa, os dados foram agregados em escala mensal. Essas representações tiveram caráter exploratório e ilustrativo, não sendo utilizadas para inferência estatística.

3.1.3 Correlação da produtividade

A associação entre a produtividade média de miniestacas, a idade da minicepa e as variáveis climáticas foi avaliada por meio do coeficiente de correlação de Spearman (ρ). A análise teve caráter exploratório, e os resultados foram apresentados na forma de matriz de correlação específica para a produtividade média.

3.1.4 Produtividade de miniestacas em períodos de maiores e menores temperaturas.

Os dados foram organizados em planilha eletrônica no formato Microsoft Excel 2019 (.xlsx), contendo informações periódicas referentes à produtividade média de miniestacas, temperatura média mensal, umidade relativa média e classificação da estação climática denominada períodos de maior e menor temperatura. Para fins de análise, os meses de maio a agosto foram classificados como período de menor temperatura, enquanto os meses de outubro a janeiro foram classificados como período de maior temperatura, considerando a produtividade correspondente. O período de avaliação compreendeu os anos de 2023 a 2025, iniciando-se em maio de 2023 e estendendo-se até agosto de 2025.

A análise estatística se iniciou pela avaliação dos pressupostos dos dados de produtividade média de miniestacas. A normalidade da distribuição foi testada separadamente para cada período climático por meio do teste de Shapiro–Wilk, aplicado sempre que o número de observações por grupo foi igual ou superior a três. A homogeneidade das variâncias foi avaliada utilizando o teste de Levene. Em função dos resultados obtidos, e considerando a natureza dos dados, a comparação da produtividade média entre os períodos (menor e maior temperatura) foi realizada por meio do teste não paramétrico de Wilcoxon–Mann–Whitney, adotando-se nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$).

A representação gráfica dos dados foi realizada por meio de boxplots, os quais permitiram a visualização da distribuição, dispersão e tendência central das variáveis analisadas em função dos períodos de menor e maior temperatura.

3.1.5 Análise estatística do enraizamento de miniestacas.

Os dados de enraizamento de miniestacas no espaçamento $0,10 \times 0,10$ m foram organizados em planilha eletrônica (Microsoft Excel 2019), contemplando as seguintes variáveis: idade da minicepa (dias), porcentagem de enraizamento (%), temperatura média mensal ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa média mensal do ar (%). O enraizamento foi avaliado com base na porcentagem obtida em cada coleta, sendo esta considerada como variável resposta nas análises (Equação 2).

Equação (2)

$$\text{Porcentagem de enraizamento (\%)} = \left(\frac{N_e}{N_t} \right) \times 100$$

Onde:

N_e = número de miniestacas enraizadas;

N_t = número total de miniestacas avaliadas (levadas a casa de vegetação).

3.1.6. Validação de variáveis e construção da base analítica

Após a importação dos dados de enraizamento de miniestacas, o script validou a presença das colunas essenciais para a análise, a saber: número de miniestacas produzidas por coleta, mês, data da coleta e número de miniestacas enraizadas em cada coleta realizada. Em seguida, as variáveis foram convertidas para formato numérico, e os dados foram filtrados para manter apenas observações com valores finitos nas variáveis principais. Posteriormente, a base de dados foi ordenada pela idade da minicepa, sendo criado um índice sequencial (t_index) para subsidiar as análises temporais.

3.1.7 Análise exploratória e visualização inicial.

A análise exploratória consistiu na construção de gráficos para descrever a relação entre enraizamento e variáveis explicativas, bem como o comportamento do enraizamento ao longo da idade da minicepa:

✓ Enraizamento (%) vs. idade da minicepa (dias) (dispersão com ajuste linear).

✓ Enraizamento (%) vs. temperatura média mensal ($^{\circ}\text{C}$) (dispersão com ajuste linear).

✓ Enraizamento (%) vs. umidade relativa média do ar (%) (dispersão com ajuste linear).

✓

3.1.8 Modelagem estatística do efeito da idade (regressão linear e polinomial).

Para avaliar o efeito da idade da minicepa sobre o enraizamento, foram ajustados dois modelos de regressão:

❖ Modelo linear:

$$\text{Enraizamento (\%)} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Idade} + \varepsilon$$

❖ Modelo polinomial de segunda ordem:

$$\text{Enraizamento (\%)} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Idade} + \beta_2 \cdot \text{Idade}^2 + \varepsilon$$

A seleção do modelo mais parcimonioso foi realizada por critérios de informação AIC (Critério de Informação de Akaike) e BIC (Critério de Informação Bayesiano), além do R^2 (Coeficiente de determinação ajustado) ajustado.

3.1.9 Diagnóstico de resíduos e correção para autocorrelação/heterocedasticidade.

(Newey–West).

Para o modelo selecionado, foram aplicados diagnósticos de pressupostos:

- ✓ Normalidade dos resíduos: teste de Shapiro–Wilk.
- ✓ Homocedasticidade: teste de Breusch–Pagan.
- ✓ Autocorrelação dos resíduos: teste de Durbin–Watson.

Considerando a possibilidade de dependência temporal/autocorrelação em dados obtidos por coletas sucessivas, os coeficientes dos modelos de regressão foram reavaliados usando erros-padrão robustos com correção Newey–West (sandwich e lmtest). O número de defasagens (lag) foi definido automaticamente com base no tamanho amostral por regra empírica:

$$\text{Lag} = \max(1, \lfloor 4 \cdot (100n)^{2/9} \rfloor)$$

Essa abordagem fornece inferência mais robusta quando há autocorrelação ou heterocedasticidade nos dados.

3.1.10 Modelo múltiplo com variáveis climáticas e multicolinearidade.

Para avaliar a contribuição de variáveis ambientais na explicação do enraizamento, foi ajustado um modelo de regressão múltipla incluindo idade, temperatura e umidade:

$$\text{Enraizamento (\%)} = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Idade} + \beta_2 \cdot \text{Temperatura} + \beta_3 \cdot \text{Umidade}.$$

Adicionalmente, foi testado um modelo alternativo com interação entre temperatura e umidade, visando verificar possível efeito combinado:

Os modelos foram comparados por AIC, BIC e R^2 ajustado. A presença de multicolinearidade entre variáveis explicativas foi avaliada pelo Fator de Inflação da Variância (VIF). O modelo climático também teve seus coeficientes reavaliados com erros-padrão robustos Newey–West, visando inferência consistente em presença de autocorrelação.

3.1.11 Correlação não paramétrica

Como medida complementar de associação monotônica entre as variáveis, foi calculada a matriz de correlação de Spearman entre enraizamento, idade das minicepas, temperatura média mensal e umidade relativa média mensal. A matriz foi exportada em arquivo texto e representada graficamente por heatmap (mapa de calor) com os coeficientes sobrepostos, permitindo interpretação visual rápida das magnitudes e sinais das correlações.

3.1.12 Análise de séries temporais (ARIMA e ARIMAX).

Para investigar dependência temporal e modelar a estrutura serial do enraizamento ao longo das observações, o enraizamento (%) foi tratado como uma série na ordem de ocorrência (frequência = 1). Foram gerados:

- ❖ ACF (função de autocorrelação) e PACF (autocorrelação parcial).
- ❖ Testes de estacionariedade:
 - ADF (Augmented Dickey-Fuller), com hipótese nula de não estacionariedade.
 - Teste KPSS (Kwiatkowski–Phillips–Schmidt–Shin), adotando-se como hipótese nula a estacionariedade da série temporal.
- ❖ Teste de Ljung–Box para verificar a autocorrelação global.

Em seguida, foi ajustado um modelo ARIMA automático (auto.arima) sem regressoras e um modelo ARIMAX incluindo temperatura e umidade como regressoras

externas (xreg). Os modelos foram comparados por AICc (critério de informação corrigido). A adequação do ajuste foi verificada por diagnóstico dos resíduos (função `checkresiduals`), avaliando independência e distribuição residual. Todas as análises foram desenvolvidas no software R.

3.1.13 Comparação do enraizamento entre períodos de menor e maior temperatura.

Os dados de enraizamento de miniestacas foram organizados em base mensal, considerando cada mês como unidade amostral. Quando mais de uma coleta foi realizada no mesmo mês, os valores foram agregados por meio do cálculo da média simples, a fim de evitar pseudorrepetição. Os meses foram previamente classificados em períodos de menor temperatura (maio, junho, julho e agosto) e maior temperatura (outubro, novembro, dezembro e janeiro), com base nas condições climáticas predominantes da região de estudo. O período de avaliação foi de maio de 2023 a agosto de 2025.

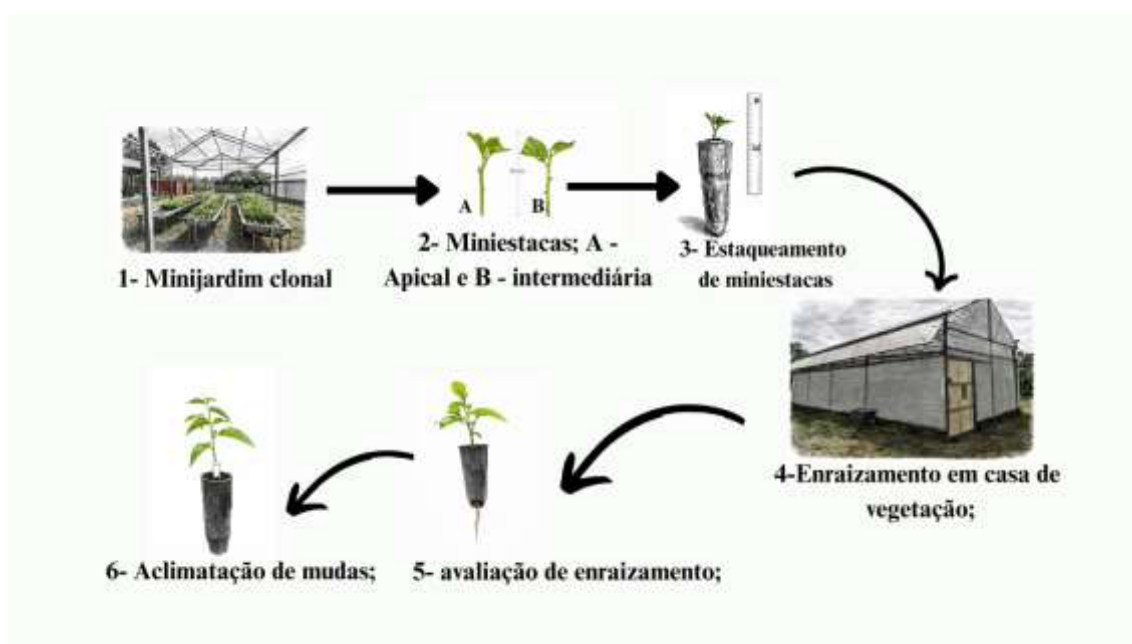
Para cada período, foram associados os valores médios mensais de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%). Inicialmente, realizou-se a estatística descritiva do enraizamento médio mensal, incluindo número de observações, média, mediana e desvio-padrão, para os períodos de menor e maior temperatura. Em seguida, a normalidade dos dados foi avaliada por meio do teste de Shapiro–Wilk, aplicado separadamente para cada grupo climático, enquanto a homogeneidade de variâncias foi verificada pelo teste de Levene.

Considerando o número desigual de observações entre os períodos e visando maior robustez da inferência estatística, a comparação do enraizamento médio mensal entre os períodos de menor e maior temperatura foi realizada por meio do teste não paramétrico de Wilcoxon–Mann–Whitney, adotando-se nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). Adicionalmente, a magnitude da diferença entre os grupos foi avaliada por meio da estimativa de Hodges–Lehmann, expressa com a diferença típica entre os valores de enraizamento dos períodos de menor e maior temperatura. As análises estatísticas foram conduzidas utilizando o software R (R Core Team, 2024), com auxílio dos pacotes *readxl*, *dplyr*, *janitor*, *ggplot2* e *car*.

3.2 Tipos de miniestacas: apicais e intermediárias

Em maio de 2025, foi realizada a coleta de miniestacas no espaçamento de 0,10 × 0,10 m, utilizando-se dois tipos: apicais e intermediárias. As miniestacas foram padronizadas com comprimento de 8 cm e submetidas à redução de 50% da área foliar. O enraizamento foi conduzido em tubetes de 280 cm³, preenchidos com substrato comercial à base de casca de pinus, e os tubetes foram acondicionados em casa de vegetação sob sistema de nebulização constante, com lâmina diária de água de aproximadamente 5 mm. As miniestacas permaneceram nessas condições por 40 dias, avaliando o enraizamento através de miniestacas vivas (enraizadas).

Após o enraizamento, as mudas foram transferidas para a casa de sombra com 50% de luminosidade com lâmina de 8 mm d⁻¹, onde permaneceram por um período de dez dias para o processo de aclimação inicial. Em seguida, as mudas foram encaminhadas para a área de pleno sol com lâmina de 12 mm dia⁻¹, sob sistema de fertirrigação, onde permaneceram até a avaliação final. A figura (Figura 7), ilustra os procedimentos para a realização da propagação vegetativa com dois tipos de miniestacas de *T. micranthum*.



Fonte: autor, 2026

Figura 7 Fluxograma do processo de produção e avaliação do enraizamento de miniestacas. (1) Minijardim clonal utilizado como fonte de propágulos; (2) obtenção de miniestacas nas posições apical (A) e intermediária (B); (3) preparo e estaqueamento das miniestacas; (4) enraizamento conduzido em casa de vegetação sob condições

controladas; (5) avaliação do enraizamento e das características do sistema radicular; e (6) aclimatação das mudas enraizadas. UFSCar *Campus* de Sorocaba, 2026.

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado (DIC), composto por dois tratamentos, com cinco repetições, sendo cada repetição constituída por oito plantas. A mensuração da altura das mudas (h) e do diâmetro do colo (DAC) foi realizada após a saída da casa de vegetação e repetida a cada 20 dias, até as mudas atingirem 120 dias de idade.

Os dados foram organizados e armazenados em planilha eletrônica (Microsoft Excel® 2019). As variáveis avaliadas incluíram porcentagem de enraizamento, crescimento em altura, diâmetro do colo, produção de biomassa seca e índice de qualidade de Dickson. Inicialmente, verificou-se a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade de variâncias pelo teste de Levene. Considerando a não normalidade dos dados, a comparação entre os tratamentos foi realizada por meio do teste não paramétrico de Mann-Whitney, adotando-se nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$). As análises estatísticas foram conduzidas no software R, versão 3.4.2.

3.3 O espaçamento das minicepas na produtividade de miniestacas

Foram implantados dois minijardins clonais, cada um com 1,0 m de comprimento por 0,90 m de largura, utilizando diferentes espaçamentos entre minicepas: $0,10 \times 0,10$ m e $0,10 \times 0,20$ m. As avaliações foram conduzidas entre maio de 2024 e maio de 2025. No espaçamento de $0,10 \times 0,10$ m foram estabelecidas 90 minicepas, enquanto no de $0,10 \times 0,20$ m foram implantadas 48 minicepas. As informações das coletas foram registradas em planilha eletrônica (Microsoft Excel® 2019), incluindo a data da coleta, o mês, o número de matrizes em cada espaçamento e o total de miniestacas coletadas por minicepa e por espaçamento.

As miniestacas foram padronizadas pela utilização da porção apical dos brotos, com 8 cm de comprimento e um par de folhas reduzidas em 50% do seu tamanho original, sendo confeccionadas com tesoura previamente higienizada em álcool 70% (Figura 8).



Fonte: Autor, 2026

Figura 8 Miniestaca apical de *T. micranthum*, com 8 cm de comprimento e folhas reduzidas em 50% do tamanho original, contendo gemas axilares distribuídas ao longo da miniestaca. UFSCar *Campus* de Sorocaba, 2026.

Os dados de produção de miniestacas obtidos nos dois espaçamentos foram organizados em base mensal. Quando ocorreu mais de uma coleta no mesmo mês, os

valores foram agrupados, considerando-se a produção total mensal. A partir desse procedimento, determinou-se a produtividade média mensal para cada espaçamento avaliado, expressa como o número médio de miniestacas produzidas por minicepa ao longo do mês. A produtividade média mensal (Pm) foi calculada pela razão entre o número total de miniestacas produzidas no mês e o número de minicepas ativas em cada espaçamento, conforme a Equação (3).

Equação (3):

$$Pm = \frac{\sum Pi}{Nm}$$

Onde:

Pm= produtividade média mensal de miniestacas (mês⁻¹);

Pi = número de miniestacas produzidas em cada coleta realizada no mês;

$\sum Pi$ = soma do número de miniestacas produzidas em cada coleta realizada naquele mês

Nm = ao número de minicepas no respectivo espaçamento no mês da coleta;

Para verificar o efeito dos espaçamentos (0,10 × 0,10 m e 0,10 × 0,20 m) e do tempo (meses), ajustaram-se modelos lineares mistos (LMM), considerando espaçamento e mês como efeitos fixos, e a minicepa como efeito aleatório, em razão da repetição das coletas em cada planta. Quando os pressupostos de normalidade e homogeneidade foram atendidos, aplicou-se a ANOVA; caso contrário, recorreu-se ao teste não paramétrico de Kruskal–Wallis. As diferenças entre médias foram avaliadas pelo teste de Tukey (p < 0,05).

3.3.1 Enraizamento de miniestacas

Todas as miniestacas coletadas nos dois espaçamentos foram devidamente identificadas e mantidas separadamente, conforme o respectivo espaçamento de origem. Posteriormente, foram encaminhadas à casa de vegetação para avaliação da porcentagem de enraizamento por espaçamento. A avaliação foi realizada aos 40 dias após o

estaqueamento, considerando-se enraizadas as miniestacas que apresentaram emissão de novas folhas e formação de raízes. A porcentagem de enraizamento foi calculada por meio da seguinte equação (4)

Equação 4

$$\text{Enraizamento} = \frac{N_e}{N_t} \times 100$$

Onde:

- N_e = número de miniestacas enraizadas por espaçamento
- N_t = número total de miniestacas produzidas no espaçamento avaliado

Para cada espaçamento, considerou-se o total de miniestacas produzidas como denominador e o número de miniestacas efetivamente enraizadas como numerador, multiplicando-se o resultado por 100 para obtenção do valor percentual.

3.3.2 Ranqueamento das minicepas

Para identificar as minicepas mais produtivas no período de maio de 2024 a maio de 2025, nos espaçamentos de $0,10 \times 0,10$ m e $0,10 \times 0,20$ m, realizou-se a comparação das médias de produtividade mensal por minicepa. A partir dessa análise, as minicepas foram ranqueadas em cada espaçamento, sendo identificadas as dez mais produtivas e as dez de menor produtividade do período.

Os dados de produtividade foram obtidos em 33 coletas consecutivas, realizadas ao longo de 12 meses, em minijardim clonal conduzido sob dois arranjos de espaçamento: $0,10 \times 0,10$ m, com 90 minicepas, $0,10 \times 0,20$ m, com 48 minicepas. Para cada minicepa, registrou-se o número de miniestacas produzidas em cada coleta, sendo a produtividade média individual determinada pela razão entre a produção total de miniestacas e o número de coletas realizadas conforme a equação (5).

Equação (5).

$$P_i = \frac{\sum_j^n P_{ij}}{n}$$

Onde:

P_i = produtividade média da i -ésima minicepa (produção de miniestacas por planta na coleta);

\sum_j^n = somatório de toda a produção da minicepa por coleta;

P_{ij} = número de miniestacas produzidas pela i -ésima minicepa na j -ésima coleta, ou seja, tudo que minicepa produziu ao longo do período do estudo;

n = número total de coletas de miniestacas realizadas durante o estudo;

As minicepas foram classificadas como de alta e baixa produtividade e posteriormente foram monitoradas quanto à produção de miniestacas e às porcentagens de enraizamento ao longo de cinco coletas sucessivas destes dois grupos, com o objetivo de comparar o desempenho produtivo entre. Durante o período experimental, verificou-se mortalidade de minicepas no minijardim clonal. Para garantir a manutenção do espaçamento previamente estabelecido, as unidades perdidas foram substituídas por novas mudas. As coletas provenientes dessas plantas substitutas foram devidamente registradas e integraram o banco de dados geral de produtividade.

Entretanto, para fins de ranqueamento de alta e baixa produtividade individual, consideraram-se exclusivamente as minicepas que permaneceram produtivas ao longo de todo o período experimental de doze meses. Dessa forma, não teve a inclusão de indivíduos com ciclo produtivo incompleto, assegurando maior consistência na comparação entre minicepas.

Para cada minicepa foram estimados os seguintes indicadores: (i) produtividade total (Total), correspondente à soma do número de miniestacas produzidas ao longo das 33 coletas; e (ii) produtividade média (Média), calculada como a média aritmética da produção por coleta. Adicionalmente, foram calculados os escores padronizados (Z-score) para as variáveis Total e Média (Z_{Total} e $Z_{Média}$), permitindo a identificação de minicepas com desempenho acima ou abaixo da média da população avaliada.

Após o cálculo desses indicadores, as minicepas foram ordenadas de forma decrescente com base na produtividade total, resultando no ranqueamento completo da população. A partir desse ranqueamento, foram selecionadas as dez minicepas com maior produtividade, classificadas como Alta_prod, e as dez com menor produtividade, classificadas como Baixa_prod.

Considerando a natureza discreta dos dados, caracterizados por contagens de miniestacas, e a ausência de distribuição normal, utilizou-se o teste não paramétrico de Kruskal–Wallis para verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas na produtividade entre as minicepas de alta e baixa produtividade. Quando identificado

efeito significativo, aplicou-se o teste pós-hoc de Dunn, com correção de Bonferroni, para identificar quais minicepas diferiram entre si ao longo das 33 coletas.

Para a identificação de padrões de produtividade e agrupamentos naturais entre as minicepas, realizou-se a análise de agrupamento k-means, considerando três grupos, com base nas variáveis Total e Média. Essa abordagem permitiu a formação de grupos homogêneos representativos de minicepas com alta, média e baixa produtividade.

Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R (RStudio), utilizando os pacotes: *readxl* (leitura de planilhas Excel), *dplyr* (manipulação de dados), *tidyr* (organização e transformação de dados), *ggplot2* (visualização gráfica), *FSA* e *dunn.test* (teste de Dunn pós-hoc), *cluster* (análise de agrupamento) e *factoextra* (visualização dos clusters).

3.4 Produtividade de segunda geração de *Trema micranthum* (L.) Blume em minijardim clonal

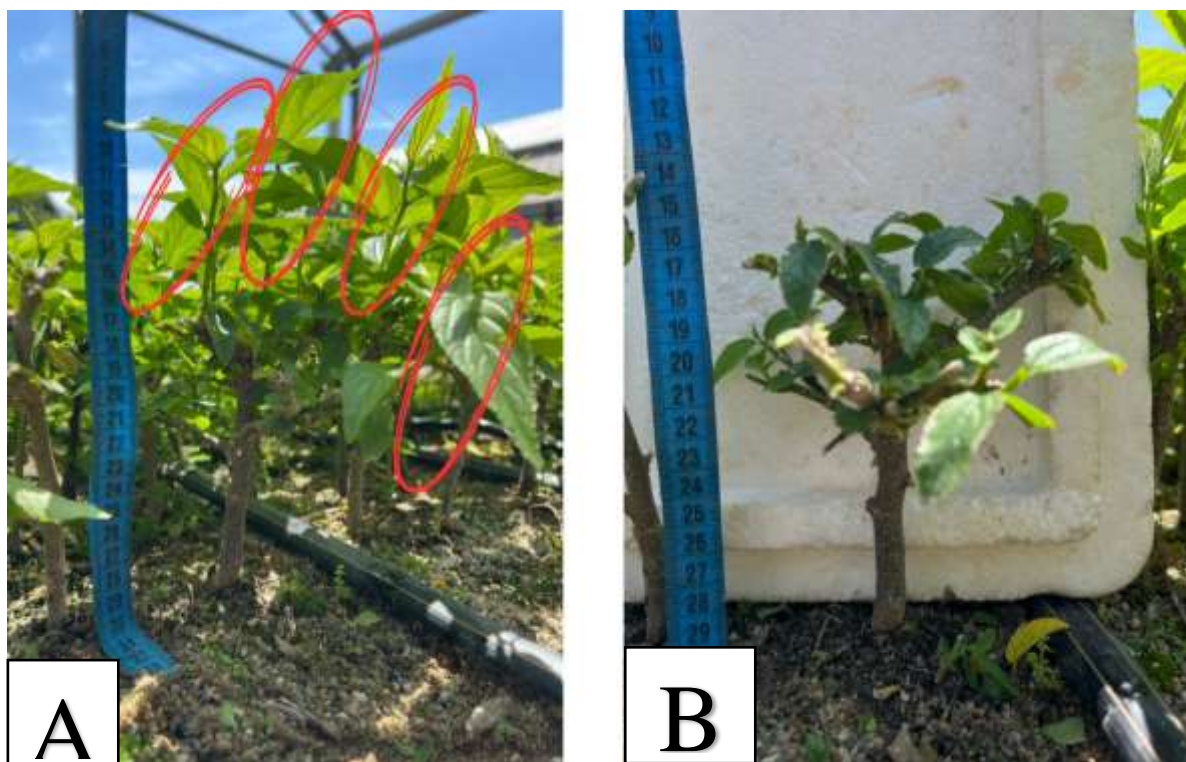
Em junho de 2025, foi instalado-se o minijardim clonal em sistema semi-hidráulico, utilizando a espécie *trema micranthum* (L.) Blume. A formação do minijardim foi em canteiro suspenso, com dimensões de 0,90 m de largura por 1,00 m de comprimento, preenchido com areia grossa lavada. No canteiro foram dispostas 90 minicepas, organizadas em espaçamento de 0,10 x 0,10 m entre plantas, de modo a favorecer o manejo, a uniformidade de crescimento de brotações laterais (formação de copa).

As mudas utilizadas foram provenientes do Viveiro Professor Carlos Alberto Martinelli Souza, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), *Campus* Sorocaba. A seleção das mudas para a implantação do minijardim clonal baseou-se em critérios de altura e idade fisiológica. Foram selecionadas mudas com altura entre 10 e 12 cm e idade máxima de 80 dias após o enraizamento, período correspondente à fase anterior ao início do processo de rustificação.

Após 30 dias do plantio, todas as minicepas foram retiradas a parte aérea a 10 cm acima da base, procedimento adotado com o objetivo de estimular a formação de brotos laterais, favorecendo a emissão de brotos para coletas subsequentes de miniestacas.

A adubação do minijardim clonal baseou-se na aplicação de macro e micronutrientes, sendo a solução nutritiva preparada em recipiente de polietileno (caixa d'água) com capacidade de 1500 L. A aplicação ocorreu por meio de fertirrigação, utilizando sistema de gotejamento, realizada diariamente em três partidas, com aplicação de lâmina de 5 mm dia, direcionada à base das minicepas. A solução nutritiva continha as concentrações de 118 mg L⁻¹ de N, 48,4 mg L⁻¹ de P, 266,5 mg L⁻¹ de K, 76 mg L⁻¹ de Ca, 57,5 mg L⁻¹ de Mg e 66 mg L⁻¹ de S, além dos micronutrientes Fe (1,55 mg L⁻¹), B (1,65 mg L⁻¹), Cu (1,65 mg L⁻¹), Mn (3,55 mg L⁻¹), Mo (0,20 mg L⁻¹) e Zn (1,60 mg L⁻¹).

O manejo e a coleta das miniestacas foram realizados ao longo de dez coletas sucessivas. A primeira e a segunda coletas ocorreram em intervalos de 30 dias, sendo a primeira realizada no momento da retirada da dominância apical das minicepas, mantendo as minicepas com 10 cm da base do solo. As coletas subsequentes foram realizadas em intervalos de 15 dias, com manejo sistemático das minicepas, visando estimular a brotação e aumentar a produtividade de miniestacas (Figura 9).



Fonte: autor, 2026

Figura 9 Manejo e seleção de brotos para a coleta de miniestacas de *T. micranthum*. **A** - Os círculos indicam brotos apicais aptos à produção de miniestacas. As minicepas foram mantidas entre 10 e 12 cm de altura, com estímulo à emissão de brotações laterais por manejo adequado da copa. **B** - Após as coletas, preservou-se parte da área foliar, garantindo a capacidade de rebrota e a emissão de novos brotos, sem comprometer o vigor vegetativo. UFSCar, *Campus Sorocaba*, 2026.

O procedimento adotado para a coleta dos brotos das minicepas consistiu no registro individual de todos os brotos removidos de cada minicepa, os quais foram contabilizados individualmente, com o objetivo de avaliar a capacidade produtiva individual de miniestacas ao longo dos diferentes intervalos de tempo entre as coletas. Para a realização das coletas, foram utilizadas tesouras de poda previamente higienizadas com álcool a 70%, bem como caixas térmicas contendo água e gelo, destinadas ao armazenamento temporário das miniestacas até o início do processo de estaqueamento na casa de vegetação.

As miniestacas foram enraizadas em substrato comercial florestal MecPlant C2, composto por casca de pinus, vermiculita, calcário, NPK e superfosfato simples, granulometria de 6 mm, umidade de 60%, capacidade de retenção de água (CRA) de 150% (m/m) e capacidade de troca de cátions (CTC) de 200 mmolc kg⁻¹. O substrato foi

aconditionado em tubetes plásticos com volume de 280 cm³. Após o envasamento dos tubetes, as miniestacas foram inseridas no substrato, mantendo-se uma a duas gemas axilares submersas. O enraizamento das miniestacas aconteceu na casa de vegetação.

3.4.1 Produtividade média do minijardim clonal

A produtividade de miniestacas foi avaliada ao longo de 10 coletas sucessivas, considerando-se a idade das minicepas, expressa em dias após o plantio. Para cada coleta, foi calculada a produtividade por área, definida como o número total de miniestacas produzidas no minijardim clonal, obtidas a partir de 90 minicepas, dividido pela área ocupada pelo canteiro (0,90 m²). Os resultados foram expressos em miniestacas m⁻² por coleta (equação 6)

Equação (6).

$$P_{\text{área}} = \frac{N}{A}$$

Onde:

$P_{\text{área}}$ = produtividade de miniestacas por área (miniestacas m⁻² por coleta);

N = número total de miniestacas produzidas no minijardim clonal em cada coleta (soma das 90 minicepas);

A = área ocupada pelo minijardim clonal (0,90 m²).

Os dados de campo foram armazenados em planilha eletrônica, no Microsoft Excel, contendo informações referentes à produção individual de cada minicepa e à produtividade de miniestacas por coleta em função da área de ocupação do minijardim clonal.

3.4.2 Análise estatística

A produtividade por área foi expressa como número de miniestacas por metro quadrado por coleta (miniestacas m⁻² coleta⁻¹), obtida pela razão entre a produção total de miniestacas e a área total do minijardim clonal.

A produtividade por área foi considerada como variável resposta (Y), enquanto a idade das minicepas (dias) foi adotada como variável explicativa (X). Inicialmente, a associação entre essas variáveis foi avaliada por meio da correlação de Spearman (ρ), método não paramétrico empregado em razão da possível não linearidade da relação e da ausência de pressupostos de normalidade. O coeficiente de correlação de Spearman e seu respectivo p-valor foram utilizados para quantificar a força e a direção da associação monotônica entre as variáveis, adotando-se nível de significância de 5%.

Em seguida, para descrever a forma funcional da relação entre a produtividade por área e a idade das minicepas, foram ajustados modelos de regressão linear simples e modelos de regressão polinomial de segundo grau (quadrático), utilizando o método dos mínimos quadrados ordinários. A seleção do modelo mais adequado foi realizada com base no Critério de Informação de Akaike (AIC), sendo escolhido o modelo com o menor valor de AIC, conforme o princípio da parcimônia.

Após a definição do modelo final, a qualidade do ajuste foi avaliada por meio do coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e do teste F global do modelo, adotando-se nível de significância de 5%. A adequação dos pressupostos do modelo selecionado foi verificada por meio da análise gráfica dos resíduos, considerando-se os gráficos de resíduos versus valores ajustados, normalidade dos resíduos e homocedasticidade.

Para fins de apresentação dos resultados, foi construída uma curva de regressão contínua a partir dos valores preditos pelo modelo selecionado, utilizando uma sequência regular de valores da variável explicativa. Os valores observados foram representados por pontos, enquanto a curva ajustada foi representada por linha contínua. A equação do modelo, o valor de R^2 ajustado, o p-valor do teste F global e os resultados da correlação de Spearman (ρ e p-valor) foram inseridos diretamente no gráfico, visando facilitar a interpretação integrada dos resultados.

Todas as análises estatísticas e a elaboração dos gráficos foram realizadas no software R, utilizando modelos lineares ajustados pelo método dos mínimos quadrados ordinários.

3.4.3 Enraizamento de miniestacas

As miniestacas coletadas no minijardim clonal foram conduzidas à casa de vegetação para o processo de enraizamento. A porcentagem de enraizamento das

miniéstacas foi calculada a partir da proporção de miniéstacas que emitiram raízes em relação ao número total de miniéstacas coletadas no minijardim clonal e avaliadas após o período de enraizamento em casa de vegetação, multiplicada por 100, conforme a seguinte equação (06):

equação (06)

$$\text{Enraizamento (\%)} = \left(\frac{N_e}{N_t}\right) \times 100$$

onde:

- E (%) = porcentagem de enraizamento por coleta;
- Ne= número de miniéstacas que emitiram raízes;
- Nt= número total de miniéstacas coletadas e levadas para a casa de vegetação para enraizar;

Os dados de enraizamento (%) de miniéstacas, foram organizados em planilha eletrônica, considerando uma observação por coleta, contendo as variáveis idade das plantas minicepas (dias) e porcentagem de enraizamento. Inicialmente, os dados foram submetidos à conferência quanto à consistência, ausência de valores ausentes e padronização numérica. A relação entre a idade das plantas matrizes e a porcentagem de enraizamento foi avaliada por meio de análises de regressão e correlação não paramétrica.

3.4.4 Análise de regressão

Foram ajustados dois modelos de regressão: (i) modelo linear simples, considerando a idade (dias) como variável independente e a porcentagem de enraizamento como variável dependente; e (ii) modelo polinomial de segundo grau (quadrático), visando capturar possíveis respostas não lineares do enraizamento em função da idade.

A seleção do modelo mais adequado foi realizada com base no Critério de Informação de Akaike (AIC), adotando-se como modelo final aquele que apresentou o menor valor de AIC. Para o modelo selecionado, foram obtidos a equação de regressão, o coeficiente de determinação ajustado (R^2_{aj}) e o valor de p associado ao teste F global.

A adequação do modelo foi avaliada por meio da inspeção gráfica dos resíduos, considerando os gráficos de resíduos versus valores ajustados, distribuição dos resíduos e homogeneidade da variância.

3.4.5 Análise de correlação

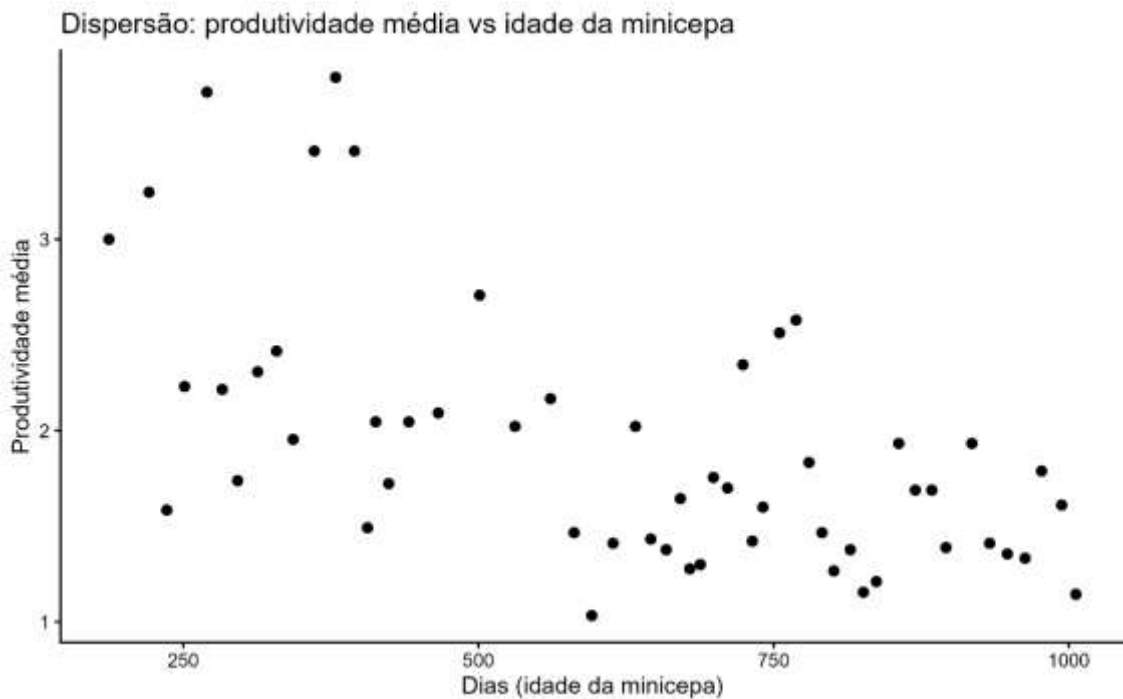
A associação entre a idade das plantas matrizes e a porcentagem de enraizamento foi avaliada por meio do coeficiente de correlação de Spearman (ρ), por não pressupor normalidade dos dados e por ser robusto a desvios de linearidade. Foram estimados o valor do coeficiente e o respectivo valor de p. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software R, empregando-se rotinas específicas para organização dos dados, modelagem estatística e representação gráfica.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Influência de fatores climáticos, fisiológicos sobre a produtividade de miniestacas, enraizamento e qualidade de mudas de *Trema micranthum* (L.) Blume;

4.1.1 Produtividade de miniestacas

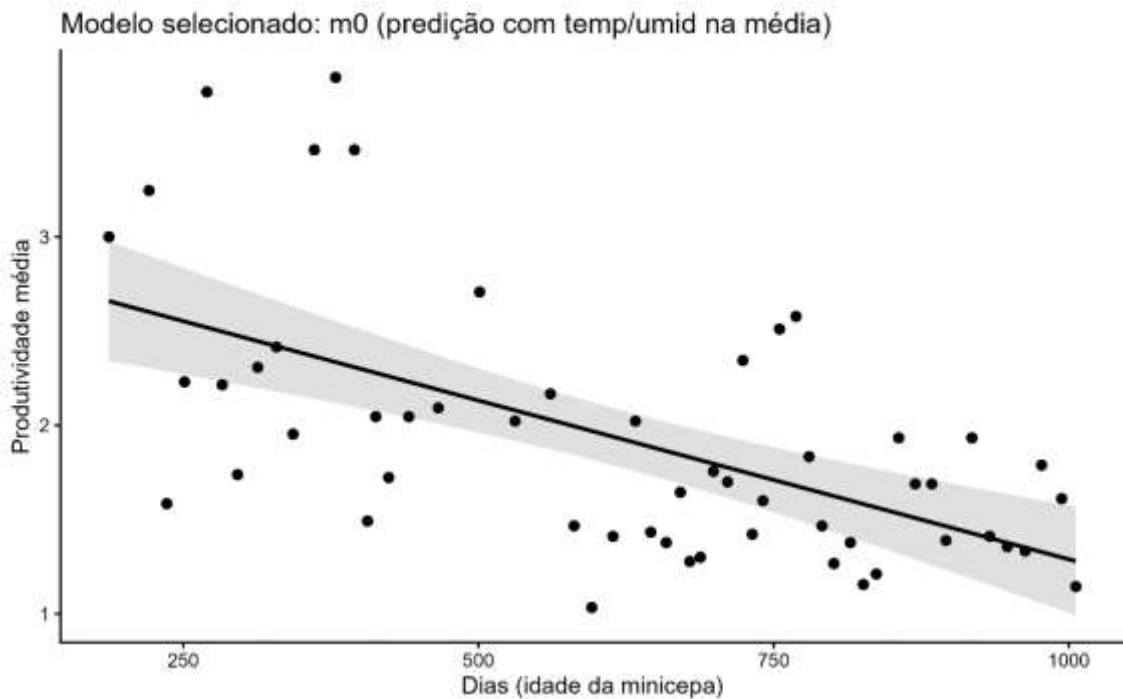
A produtividade média de miniestacas variou ao longo das 54 coletas realizadas, com valores mais elevados nas coletas iniciais e redução progressiva ao longo do tempo (Figuras 10). Quando avaliada em função da idade da minicepa, expressa em dias após o plantio, verifica-se tendência linear negativa significativa entre a produtividade média e a idade das minicepas.



Fonte: autor, 2026

Figura 10 Dispersão da produtividade média de miniestacas de *T. micranthum* em função da idade da minicepa (dias após o plantio em minijardim clonal). Dados de cinquenta e quatro coletas sucessivas ao longo do tempo (início das coletas com 184 dias até 1006 dias). UFSCar *Campus* de Sorocaba, 2026.

O modelo de regressão linear ajustado confirmou a existência de relação negativa significativa entre a idade da minicepa (dias após o plantio) e a produtividade média de miniestacas (Figura 11). Observou-se declínio gradual da produtividade ao longo do tempo, mesmo considerando a variabilidade entre coletas. O intervalo de confiança de 95% demonstrou tendência consistente de redução na produtividade de miniestacas.



Fonte: autor, 2026

Figura 11 Produtividade média de miniestacas de *T. micranthum* em função da idade da minicepa (dias após o plantio), com ajuste de regressão linear considerando temperatura e umidade relativas fixadas nas médias. A linha contínua representa o valor estimado pelo modelo e a faixa sombreada corresponde ao intervalo de confiança de 95%. UFSCar, Campus Sorocaba, 2026.

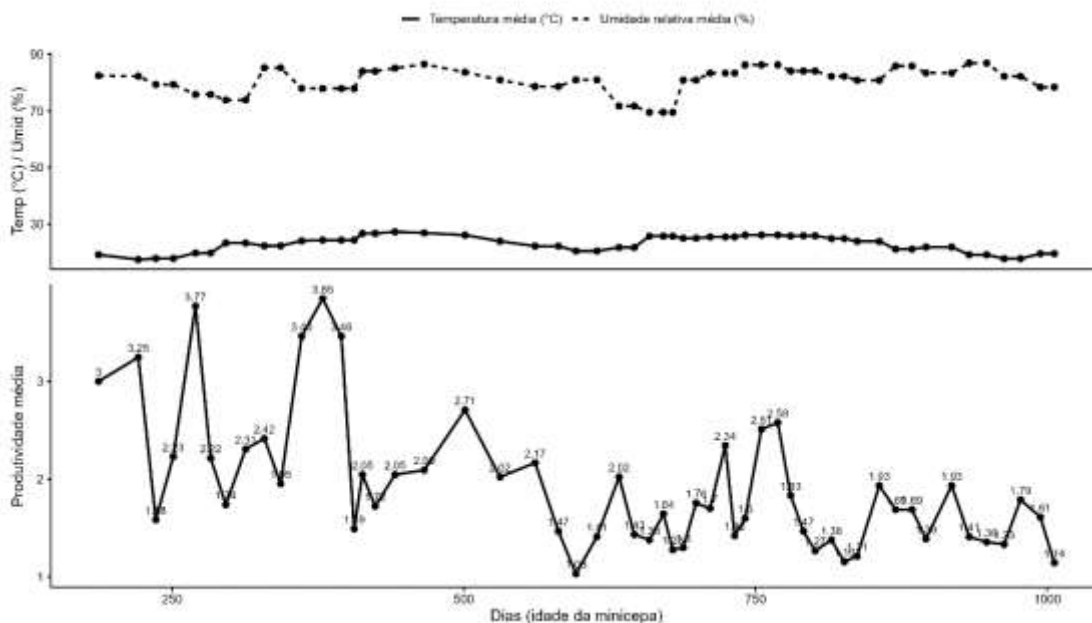
O modelo de regressão linear simples ajustado entre a produtividade média e a idade da minicepa foi o mais adequado segundo o critério de informação de Akaike (AIC), quando comparado ao modelo polinomial de segunda ordem. A análise de variância entre os modelos indicou ausência de ganho significativo de ajuste com a inclusão do termo quadrático ($p > 0,05$), corroborando a escolha do modelo linear. O coeficiente associado à idade da minicepa de *T. micranthum* foi negativo e estatisticamente significativo ($p < 0,001$), indicando redução contínua da produtividade média de miniestacas por planta à medida que as minicepas envelheceram.

A análise dos resíduos do modelo linear evidenciou desvio da normalidade (teste de Shapiro–Wilk, $p < 0,05$), presença de heterocedasticidade (teste de Breusch–Pagan, $p < 0,01$) e autocorrelação positiva dos resíduos (teste de Durbin–Watson, $p < 0,05$), caracterizando a existência de dependência temporal entre as observações. Em função disso, a inferência estatística dos coeficientes foi realizada com erros-padrão robustos de Newey–West. Mesmo após essa correção, o efeito da idade da minicepa sobre a

produtividade de miniestaca manteve-se altamente significativo ($p < 0,001$), confirmando a robustez do resultado.

A inclusão das variáveis climáticas temperatura média mensal e umidade relativa média mensal nos modelos de regressão múltipla não resultou em melhoria do ajuste em relação à modelo base, conforme indicado pelos valores de AIC. Adicionalmente, nenhum dos coeficientes associados às variáveis climáticas teve efeito significativo após o controle do efeito da idade das minicepas. Esses resultados indicam que, nas condições avaliadas, a variação da produtividade média foi explicada predominantemente pela idade das minicepas, não sendo observada contribuição adicional das variáveis climáticas mensais.

A análise gráfica complementar, baseada em dados agregados mensalmente, evidenciou oscilações sazonais na temperatura média e na umidade relativa ao longo do período experimental. Entretanto, tais oscilações não se refletiram em padrões consistentes de aumento ou redução da produtividade média ao longo do tempo (Figura 12).

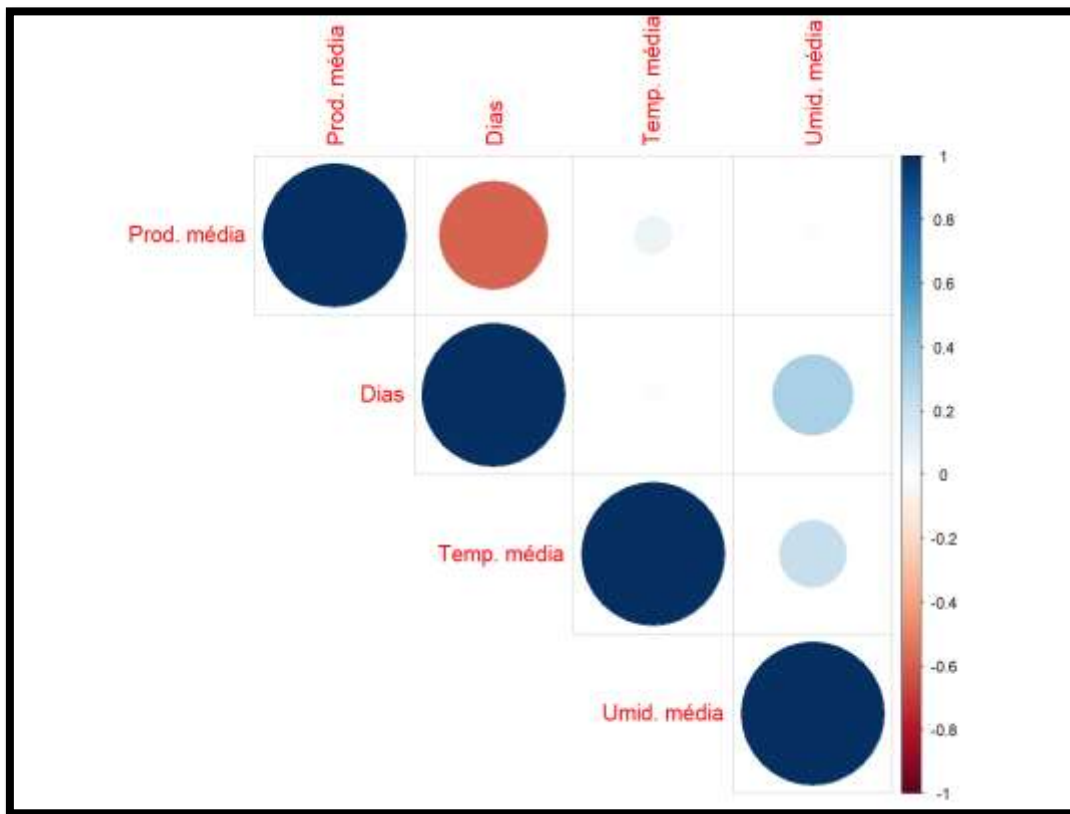


Fonte: autor, 2026

Figura 12 Variação da temperatura média (°C) e da umidade relativa média (%) do ar (painel superior) e da produtividade média de miniestacas de *T. micranthum* (painel inferior) em função da idade da minicepa (dias após o plantio no minijardim clonal) Os valores climáticos correspondem às médias mensais associadas às coletas realizadas entre maio de 2023 e agosto de 2025. UFSCar, Campus Sorocaba, 2026.

De forma adicional, a visualização da produtividade média em função da idade das minicepas, utilizando o eixo temporal em dias, corroborou com o padrão observado no modelo estatístico, evidenciando declínio gradual da produtividade ao longo do envelhecimento das minicepas, independentemente das flutuações climáticas mensais. A produtividade de miniestacas de *T. micranthum*, aos 182 dias de condução em minijardim clonal, teve picos de até 3,05 miniestacas por coleta. Após aproximadamente 1.000 dias de condução do minijardim clonal, a produtividade média foi de 1,78 miniestacas por planta/ coleta.

A matriz de correlação de Spearman teve padrões distintos de associação entre a produtividade média de miniestacas, idade das minicepas de *T. micranthum* e as variáveis climáticas temperatura média mensal e umidade relativa média mensal (Figura 13).



Fonte: autor, 2026

Figura 13 Matriz de correlação de Spearman (ρ) entre produtividade média de miniestacas (Prod. média), idade da minicepa em dias (Dias), temperatura média mensal (Temp. média) e umidade relativa média (Umid. média). O tamanho dos círculos é proporcional à magnitude de $|\rho|$ e a cor indica o sentido da associação, variando de vermelho (negativa) a azul (positiva), conforme a escala (-1 a +1). Correlações próximas de zero indicam associação fraca ou inexistente. UFSCar, *Campus Sorocaba*, 2026.

Observou-se correlação negativa moderada a forte entre a produtividade média e a idade da minicepa ($\rho < 0$), indicando que o aumento do tempo de cultivo da minicepa no minijardim clonal esteve associado à redução da capacidade produtiva das minicepas ao longo do período avaliado. Esse resultado sugere que o envelhecimento fisiológico das minicepas exerceu influência significativa sobre a dinâmica produtiva, refletindo possível redução do vigor vegetativo e da capacidade de emissão de brotações com o avanço da idade.

Em contraste, a produtividade média indicou correlação fraca ou inexistente com a temperatura média mensal e com a umidade relativa média, evidenciando que, nas condições climáticas observadas durante o período do estudo essas variáveis não se configuraram como fatores limitantes diretos da produtividade de miniestacas de *T. micranthum* no minijardim clonal. Tal comportamento indica que os valores de temperatura média e umidade média permaneceram, de modo geral, dentro de faixas adequadas ao desenvolvimento das minicepas, não exercendo efeito monotônico pronunciado sobre a produtividade.

A idade da minicepa indicou correlação positiva moderada com a umidade relativa média, refletindo a ocorrência de maior idade das minicepas em períodos caracterizados por maior umidade atmosférica, possivelmente associada à sazonalidade climática do local de estudo. Entretanto, essa associação não se traduziu em incremento da produtividade, reforçando o papel predominante do fator etário sobre os fatores climáticos.

De modo geral, a análise de correlação confirmou que a idade da minicepa foi o principal fator associado à variação da produtividade média, enquanto as variáveis climáticas analisadas tiveram efeito secundário ou indireto, atuando possivelmente como moduladoras do ambiente de cultivo, mas não como determinantes diretas da produtividade média de miniestacas de *T. micranthum* no sistema de minijardim clonal.

Mesmo com a nutrição e irrigação controlada entre as minicepas no minijardim clonal a espécie florestal *T. micranthum*, ao longo do tempo (2023 a 2025), foi diminuindo gradativamente a produtividade média por planta. O declínio progressivo da produtividade média de miniestacas ao longo das coletas sucessivas evidencia que a idade da minicepa exerceu papel central na dinâmica produtiva do minijardim clonal. Esse padrão é amplamente relatado em sistemas de propagação vegetativa, nos quais a maior produção de brotações ocorre nas fases iniciais de condução, seguida por redução gradual

associada ao envelhecimento fisiológico das minicepas (Higashi, 2004); (Xavier; Wendling; Silva, 2013).

O envelhecimento das minicepas está relacionado a alterações no balanço hormonal, especialmente à redução da atividade citocinínica nas gemas axilares e ao aumento relativo da dominância apical, o que compromete a emissão contínua de brotações aptas à coleta (Taiz et al., 2017). Além disso, a redistribuição de carboidratos e nutrientes ao longo do tempo pode favorecer a manutenção estrutural da planta em detrimento da produção de novos propágulos vegetativos (Hartmann et al., 2011).

Resultados semelhantes foram observados em estudos com espécies florestais nativas e comerciais, nos quais a produtividade de miniestacas diminuiu significativamente com o avanço da idade das minicepas, mesmo sob manejo nutricional intensivo (Freitas et al., 2017; Wendling; Xavier, 2005). A idade cronológica e fisiológica das minicepas constitui um fator estruturante da produtividade de miniestacas. Segundo Titon (2003), a avaliação do potencial produtivo máximo de minicepas deve ser realizada apenas após a estabilização do sistema de minijardim clonal, normalmente atingida entre 150 e 180 dias após o plantio no sistema, período necessário para o estabelecimento fisiológico e operacional das minicepas. Já estudos recentes com espécies florestais nativas conduzidas em sistema de minijardim clonal a produtividade por minicepa vem sendo avaliada desde as coletas iniciais de formação da minicepa no sistema de cultivo, permitindo a caracterização da dinâmica produtiva ao longo do tempo (Sant'Ana et al., 2023).

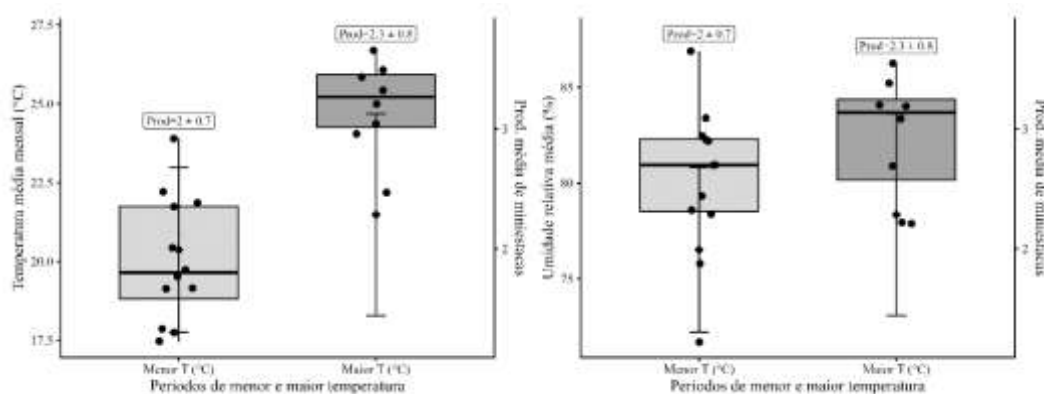
Freitas et al. (2017) ao avaliarem a produtividade de minicepas de espécies de eucalipto, verificaram que a produtividade de miniestacas é diretamente influenciada pela nutrição mineral ao longo do experimento. Entre os nutrientes que mais contribuem para o incremento da produtividade, destaca-se o nitrogênio, em função de seu papel no crescimento vegetativo e na emissão de brotações.

Resultados obtidos com *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A.Juss.) Müll.Arg. indicam que o manejo nutricional via fertirrigação exerce influência direta sobre a produtividade de miniestacas, sendo observada maior produção de hastes verdes sob níveis adequados de condutividade elétrica da solução nutritiva (Borelli et al., 2024). No estudo de condução de minicepas e produtividade de miniestacas de *Trema micranthum*, realizado no período de 2023 a 2025, a adubação foi mantida constante durante todo o experimento, permitindo avaliar o desempenho produtivo das minicepas sob condições nutricionais ao longo do tempo sem alteração.

A escolha do modelo linear como o mais parcimonioso reforça a interpretação de que o declínio produtivo ocorreu de forma contínua e gradual, sem evidências de recuperação ou pontos de inflexão ao longo do período avaliado. A robustez desse resultado, mesmo após a correção para heterocedasticidade e autocorrelação por meio de erros-padrão de Newey–West, evidencia que o efeito da idade da minicepa foi consistente e estatisticamente estável para os dos dados de produtividade média de miniestacas.

4.1.2 Produtividade média dos períodos de menor e maior temperatura.

A temperatura média mensal evidenciou-se mais elevada nos meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro, caracterizando o período de maior temperatura, enquanto os meses de maio, junho, julho e agosto corresponderam ao período de menor temperatura (Figura 14). Observa-se que a produtividade média de miniestacas foi superior nos períodos de maior temperatura, com valor médio estimado de $2,3 \pm 0,8$ miniestacas, em comparação aos períodos de menor temperatura, nos quais a produtividade média situou-se em torno de $2,0 \pm 0,7$ miniestacas.



Fonte: autor, 2026

Figura 14 Boxplots da temperatura média mensal e da umidade relativa média em períodos de menor (maio a agosto) e maior temperatura (outubro a janeiro), com produtividade média de miniestacas de *T. micranthum* no eixo secundário. Os valores nas caixas indicam média \pm desvio-padrão. UFSCar, Campus Sorocaba, 2026.

Durante o período de menor temperatura, os valores médios concentraram-se em torno de 19–20 °C, enquanto, no período mais quente, situaram-se próximos a 25–26 °C. De forma semelhante, a umidade relativa média do ar foi mais elevada nos períodos de maior temperatura, com mediana próxima a 84%, ao passo que, nos períodos de menor temperatura, os valores oscilaram predominantemente entre 70 e 80%.

A inclusão das variáveis climáticas temperatura média mensal e umidade relativa média mensal nos modelos de regressão não resultou em melhoria significativa do ajuste, tampouco teve coeficientes estatisticamente significativos. Esse resultado indica que, nas condições experimentais avaliadas, a produtividade média foi predominantemente determinada por fatores intrínsecos às minicepas, e não diretamente modulada pelas variações climáticas mensais.

Esse comportamento sugere que as condições climáticas permaneceram, de modo geral, dentro de faixas adequadas ao crescimento vegetativo da espécie, não atuando como fatores limitantes diretos da produção de miniestacas de *T. micranthum*, isto porque o clima da região do município de Sorocaba tem bastante variações sazonais entre dias, meses e anos. Do ponto de vista fisiológico, a ausência de resposta clara da produtividade de miniestacas às variáveis climáticas pode estar associada à capacidade de adaptação da minicepa ao sistema de cultivo, onde as flutuações ambientais externas não afetam diretamente a produtividade, pois fatores como nutrição e manejo das minicepas podem colaborar com estas respostas. Assim, embora a temperatura e umidade sejam reconhecidamente importantes para o crescimento vegetativo, neste estudo as condições ambientais foram necessárias e eficientes no manejo e condução do minijardim clonal, mas não demonstram sozinhas um efeito extremo na produtividade de miniestacas de *T. micranthum* durante o estudo.

A matriz de correlação de *Spearman* evidenciou associação negativa moderada a forte entre a produtividade média e a idade da minicepa, reforçando o papel central do fator etário na dinâmica produtiva do minijardim clonal. Em contraste, as correlações entre produtividade e as variáveis climáticas foram fracas ou inexistentes, confirmando a influência secundária dessas variáveis sobre a produção de miniestacas no período avaliado.

A correlação positiva observada entre a idade da minicepa e a umidade relativa média reflete, possivelmente, a sazonalidade climática ao longo do tempo experimental, com minicepas ao longo das coletas sucessivas coincidindo temporalmente com períodos de maior umidade atmosférica. Entretanto, essa associação não se traduziu em incremento

da produtividade, o que reforça a interpretação de que a umidade, embora importante para o ambiente de cultivo, não foi capaz de compensar os efeitos do envelhecimento fisiológico das minicepas.

A atividade metabólica em plantas, tanto nas fases jovens quanto adultas, tende a diminuir durante o inverno, impactando diretamente o crescimento e a emissão de novas brotações. Durante essa estação, ocorre uma redução nas funções fisiológicas, restringindo processos como a divisão celular, formação de raízes e a expansão de tecidos (Pires et al., 2015).

Estudo de produtividade de miniestacas florestais em sistemas de minijardins clonais, observaram que épocas mais quentes, associadas a temperaturas elevadas e maior umidade relativa do ar, favorecem a brotação das minicepas e, conseqüentemente, resultam em maior produtividade de miniestacas. A maior parte destes estudos são realizados com espécies florestais exóticas comerciais (Brondani, 2012; Xavier; Wendling; Silva, 2013). Estudo realizado com *Pinus radiata* em minijardim clonal suspenso, ao longo de um ano de avaliação da produtividade média, demonstrou que os meses com temperaturas mais elevadas, correspondentes ao período de verão, tiveram maior produção de miniestacas, com média de 2,18 miniestacas por minicepa. Em contraste, durante o inverno, quando as temperaturas foram mais baixas, a produtividade reduziu-se significativamente, alcançando média de apenas 0,56 miniestacas por minicepa (Schultz et al., 2010).

Em experimento conduzido com a espécie *Campomanesia aurea* O. Berg, avaliou-se a produtividade de miniestacas ao longo das quatro estações do ano. Os maiores valores de produtividade foram observados na primavera e no verão, períodos caracterizados por temperaturas e umidade mais elevadas no local de estudo, com médias de 10,0 e 18,9 miniestacas por minicepa, respectivamente. (Emer et al., 2019).

A produtividade de miniestacas de espécies nativas é o maior indicador que o minijardim clonal está oferecendo as condições ideais para a minicepa expressar seu potencial. Cunha et al. (2005) que, ao trabalharem com *Erythrina falcata*, obtiveram uma produtividade média quinzenal de 2,9 miniestacas por minicepa por coleta em meses com temperaturas médias de 22-25°C. Segundo Wendling; Xavier (2005), em meses com maior temperatura e umidade no ambiente as minicepas tende a ter maior percentual de produtividade por minicepa. Xavier et al., (2003), ao conduzirem *Cedrela fissilis* em minijardim clonal, observaram que, a partir da terceira coleta, a produtividade média foi de 1,3 miniestacas por minicepa em meses classificados como de primavera e verão. Esses

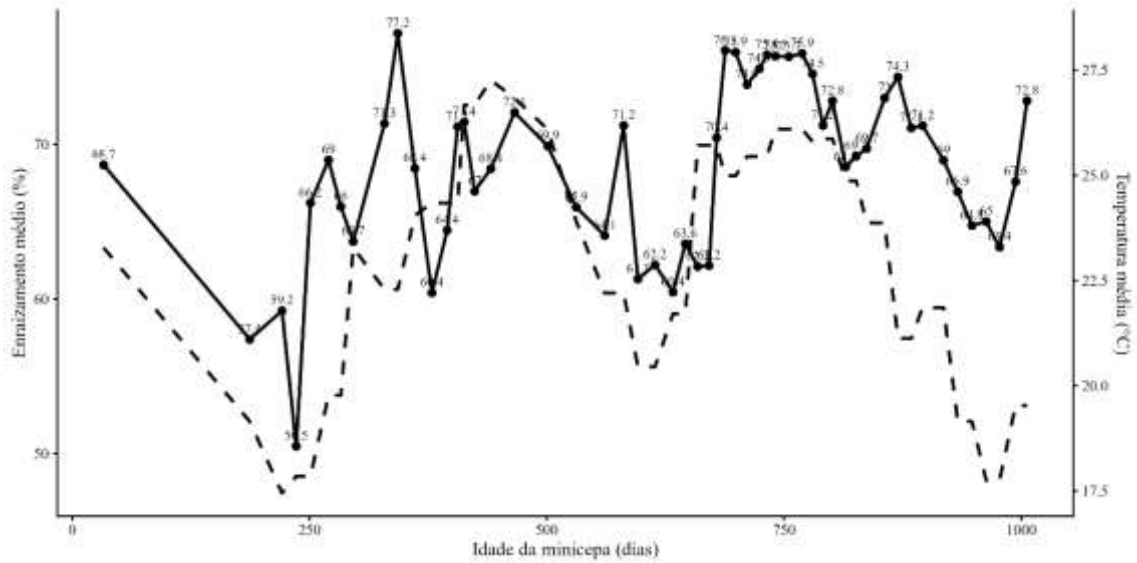
resultados se aproximam daqueles observados na condução do minijardim clonal de *T. micranthum*, no qual, durante os meses considerados mais quentes na região do estudo (outubro, novembro, dezembro e janeiro), a produtividade média por planta foi de 3-2,5 miniestacas por minicepas. Nesse período, as minicepas elevaram sua produtividade de miniestacas, mesmo sem alterações na formulação nutricional da fertirrigação.

A comparação da produtividade média entre os períodos de menor temperatura e de maior temperatura evidenciou a tendência de valores ligeiramente superiores nos períodos de maior temperatura, caracterizados por maiores temperaturas médias e umidade relativa média. Embora essa diferença sugira uma resposta positiva da produtividade às condições climáticas mais favoráveis, o efeito observado foi discreto quando comparado ao impacto da idade da minicepa.

Esses resultados indicam que, embora a temperaturas mais elevadas e maior umidade relativa possam favorecer processos fisiológicos associados ao crescimento vegetativo, como alongamento celular e atividade metabólica, esses fatores não foram suficientes para alterar substancialmente o padrão geral de declínio produtivo ao longo do tempo. Assim, a influência climática parece atuar como um fator modulador, potencializando a produtividade em determinados períodos, mas sem reverter a tendência imposta pela idade fisiológicas das minicepas de *T. micranthum* ao longo do tempo.

4.1.3 Enraizamento de miniestacas

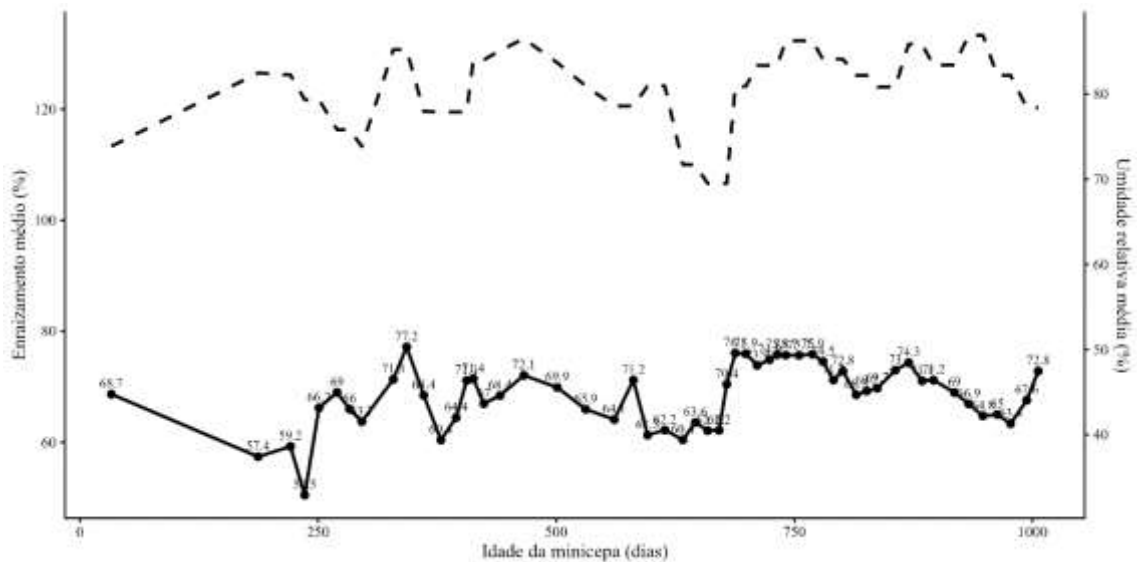
O enraizamento (%) das miniestacas variou entre os períodos de coletas, com valores mínimos de 50,4% e máximos de 77,2% por coleta. A primeira coleta de miniestacas foi realizada quando as minicepas estavam com 182 dias após o plantio no minijardim clonal, enquanto a última coleta ocorreu aos 1.006 dias após o plantio. A temperatura média mensal dentro da casa de vegetação teve picos de temperatura que acompanhou os dados de enraizamento de miniestacas (Figura 15).



Fonte: autor, 2026

Figura 15 Variação do enraizamento (%) de miniestacas de *T. micranthum* em função da idade da minicepa (linha contínua), associada à temperatura média mensal (linha tracejada), no período de maio de 2023 a agosto de 2025. Viveiro de Mudanças Nativas Prof. Carlos Alberto Martinelli Souza, UFSCar, *Campus Sorocaba*, 2026.

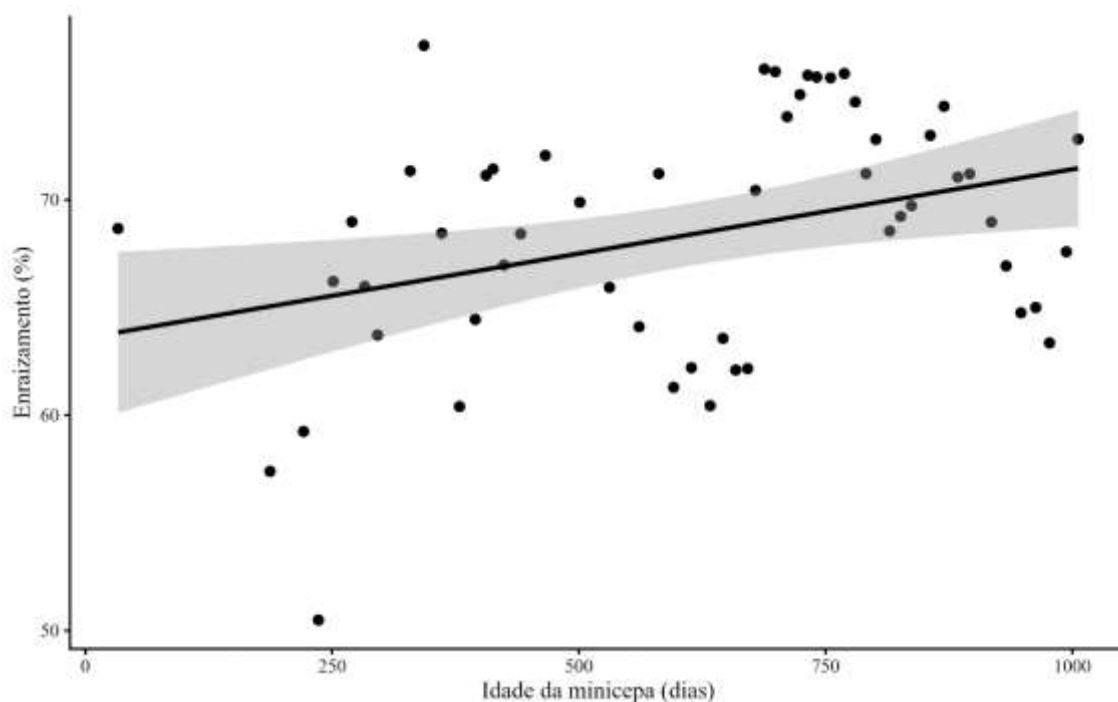
Observa-se que a umidade relativa média mensal do ar oscilou entre os meses de condução do experimento, evidenciando padrão semelhante ao verificado na porcentagem de enraizamento das miniestacas de *T. micranthum* (Figura 16).



Fonte: autor, 2026

Figura 16 Variação do enraizamento (%) em porcentagem de miniestacas de *T. micranthum* em função da idade da minicepa (linha contínua), em conjunto com a umidade relativa média do ar (linha tracejada), ao longo do período experimental, de maio de 2023 a agosto de 2025. Viveiro de mudas nativas professor Carlos Alberto Martinelli Souza. UFSCar *Campus* de Sorocaba, 2025.

Os resultados evidenciam variação no enraizamento (%) das miniestacas de *T. micranthum* ao longo do tempo, sem associação direta com a idade das minicepas (Figura 17).



Fonte: autor, 2026

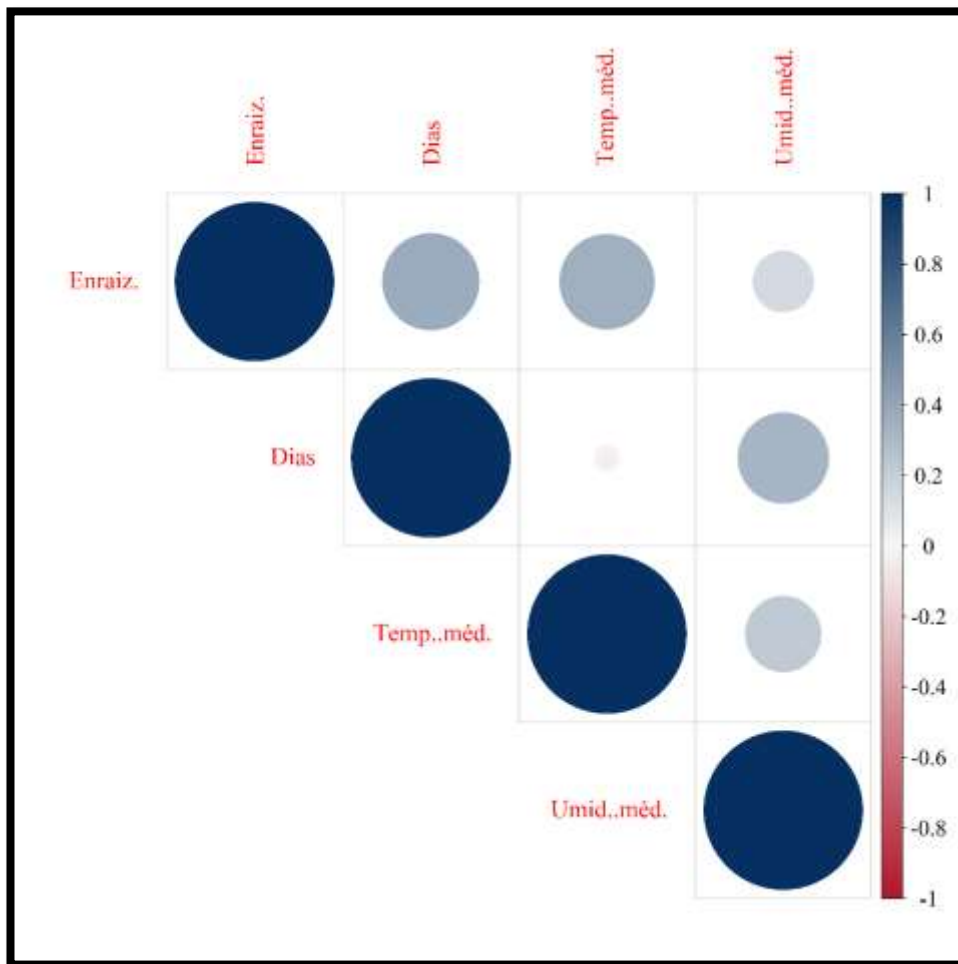
Figura 17 A relação entre a idade da minicepa (dias) e a porcentagem de enraizamento (%) foi avaliada por meio de regressão linear simples, ajustada pelo método dos mínimos quadrados ordinários, com estimativa do intervalo de confiança de 95%. UFSCar, Campus de Sorocaba, 2026.

Observa-se que o enraizamento acompanhou o comportamento da temperatura durante o estudo, de modo que períodos de aumento térmico tenderam a promover maiores percentuais de enraizamento, enquanto reduções de temperatura estiveram relacionadas a menores valores de porcentagem de enraizamento. Esse padrão indica a plasticidade da espécie em resposta às condições ambientais, refletindo a sensibilidade do processo de enraizamento às variações microclimáticas. Além disso, verificou-se tendência de incremento do enraizamento ao longo do tempo, possivelmente relacionada ao aprimoramento gradual do manejo e ao maior domínio no ajuste das condições da casa de vegetação.

Com o avanço da idade das minicepas de *T. micranthum* no sistema de minijardim clonal, não foi observada diminuição da porcentagem de enraizamento das miniestacas, cujos valores se mantiveram dentro das faixas registradas nos meses anteriores. Dessa forma, os resultados indicam que as variações de temperatura e umidade exerceram maior

influência sobre o enraizamento das miniestacas do que a idade das minicepas ao longo do período avaliado. O ajuste dos períodos de coletas de miniestacas para intervalos de 12 a 15 dias contribuiu para a manutenção do estado juvenil do material propagativo, favorecendo o enraizamento e resultando em porcentagens superiores a 50% por coleta realizada.

A matriz de correlação de Spearman indica associações positivas entre o enraizamento (%) e as variáveis ambientais temperatura média mensal ($\rho = 0,50$) e umidade relativa média do ar ($\rho = 0,47$), além de associação positiva com a idade da minicepa ($\rho = 0,31$). As correlações entre as variáveis climáticas e a idade da minicepa foram fracas ou inexistentes, indicando independência relativa entre esses fatores (Figura 18).



Fonte: autor, 2026

Figura 18 Matriz de correlação de Spearman entre o enraizamento (%) de miniestacas de *T. micranthum*, a idade da minicepa (dias), a temperatura média mensal (°C) e a umidade relativa média do ar (%). UFSCar Campus de Sorocaba, 2025.

Observou-se correlação positiva moderada entre a temperatura e a umidade relativa do ar média mensal e a porcentagem de enraizamento das miniestacas, indicando que meses com temperaturas mais elevadas estiveram associados a maiores percentuais de enraizamento em *T. micranthum*. Esse resultado reforça que as condições ambientais da casa de vegetação influenciam o processo de formação de novas raízes em miniestacas de espécies florestais. Por outro lado, o intervalo de dias entre as coletas teve correlação positiva, porém fraca, com o enraizamento, sugerindo que esse fator não exerceu influência predominante sobre a resposta. Ainda assim, os intervalos entre coletas foram importantes para a manutenção da juvenilidade dos brotos de *T. micranthum*, contribuindo indiretamente para o sucesso do processo de propagação da espécie.

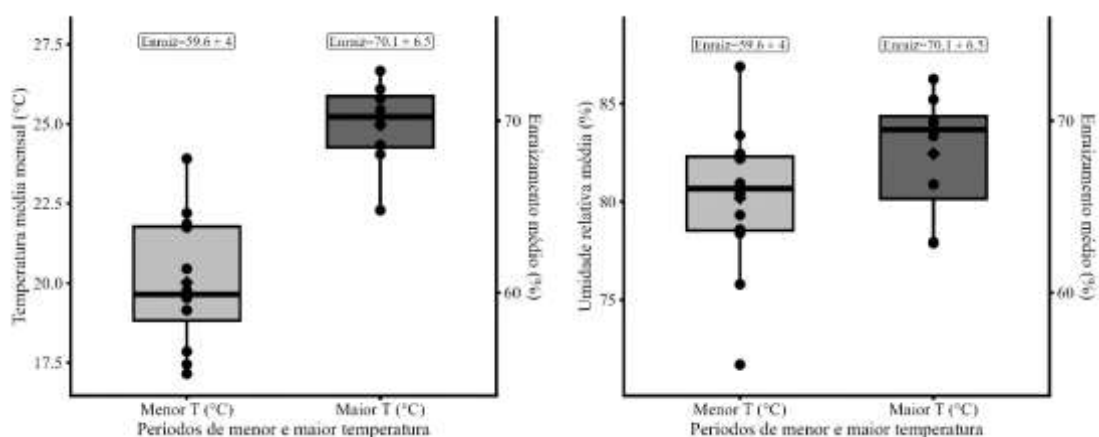
O enraizamento de miniestacas de espécies florestais nativas, quando realizado a partir de material propagativo jovem, nem sempre requer a aplicação de fitoreguladores, uma vez que muitas espécies têm balanço hormonal endógeno favorável à emissão de raízes adventícias. Estudos que avaliaram o enraizamento de miniestacas de espécies florestais nativas têm resultados satisfatórios mesmo na ausência de fitoreguladores de enraizamento, especialmente quando são adotadas condições adequadas de manejo, juvenilidade do material e ambiente de enraizamento favorável (Hernandez et al., 2013; Sant’Ana et al., 2023).

Segundo Campos et al. (2024), diversos fatores podem influenciar o enraizamento de miniestacas florestais, tanto intrínsecos, relacionados às características fisiológicas da própria planta, quanto extrínsecos, associados às condições ambientais. Ainda assim, a dificuldade de enraizamento observada em algumas espécies pode ser superada quando são fornecidas condições adequadas ao processo, como a utilização de substratos apropriados e o estabelecimento de faixas ideais de temperatura e umidade. Outro procedimento operacional importante na casa de vegetação e controle da lâmina de irrigação que precisa ser ajustada de acordo com as características das espécies a ser propagadas vegetativamente (Fernandes et al., 2018).

Nesse contexto, entre os fatores intrínsecos, destaca-se a idade fisiológica do material propagativo, uma vez que a capacidade de enraizamento de miniestacas tende a reduzir-se em função do processo de maturação fisiológica dos brotos (Botin; Carvalho, 2015). Além da variação entre espécies, a taxa de perda da capacidade rizogênica com o aumento da idade também pode diferir entre indivíduos de uma mesma espécie, conforme observado por Husen, (2006) em *Tectona grandis*.

Dias et al. (2012), ao avaliarem o enraizamento de miniestacas de *Anadenanthera macrocarpa*, concluíram que o processo ocorreu de forma mais eficiente em condições de temperatura situadas acima da faixa de 20–30 °C e com umidade relativa do ar superior a 85%. A temperatura e a umidade relativa do ar no ambiente de enraizamento de miniestacas devem ser controladas e mantidas dentro de faixas adequadas às exigências fisiológicas das espécies. Espécies florestais nativas, em geral, possuem maior sensibilidade às condições ambientais, requerendo temperaturas superiores a 22 °C e umidade relativa do ar acima de 65% para o adequado enraizamento (Sant’Ana, 2021). Em contraste, temperaturas elevadas associadas a baixa umidade relativa do ar podem intensificar o estresse hídrico e resultar em aumento da mortalidade das miniestacas.

A distribuição da temperatura média mensal, avaliada por meio de boxplots, evidenciou uma clara separação entre os períodos classificados como de menor e maior temperatura (Figura 19).



Fonte: autor, 2026

Figura 19 Boxplot da temperatura média mensal (°C) (esquerda) e da umidade relativa média (%) (direita), comparando os meses de menor temperatura (maio, junho, julho e agosto) e de maior temperatura (outubro, novembro, dezembro e janeiro), durante o monitoramento do enraizamento de miniestacas de *T. micranthum* em casa de vegetação. Dados mensais de maio de 2023 a agosto de 2025. UFSCar, Campus Sorocaba, 2026.

Observa-se que os períodos de maior temperatura estiveram associados a maiores valores médios de enraizamento de miniestacas, com média estimada de aproximadamente $70,1 \pm 6,5\%$, enquanto nos períodos de menor temperatura o enraizamento médio situou-se em torno de $59,6 \pm 4,0\%$. Durante os períodos mais

quentes, as temperaturas médias concentraram-se próximas a 25–26 °C, ao passo que, nos períodos de menor temperatura, os valores situaram-se em torno de 19–20 °C. De forma semelhante, a umidade relativa média do ar foi mais elevada nos períodos de maior temperatura, com medianas próximas a 84%, enquanto nos períodos mais frios os valores oscilaram predominantemente entre 70 e 80%.

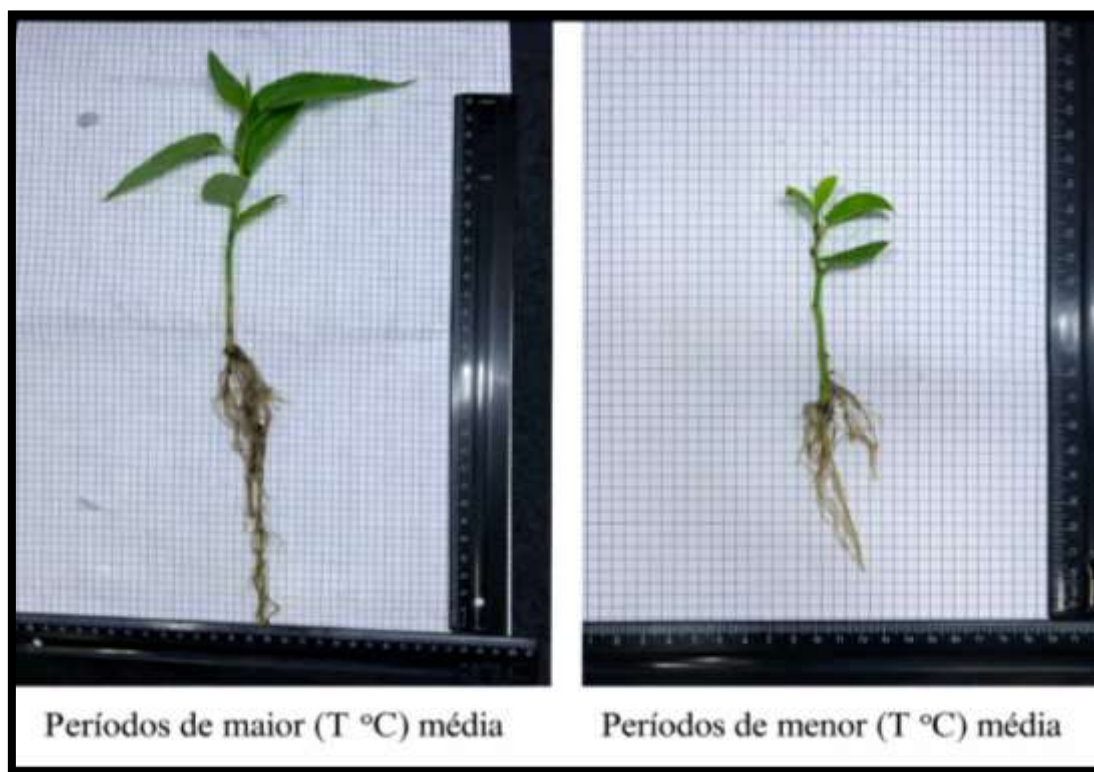
Para a umidade relativa média mensal, os boxplots indicaram valores relativamente elevados em ambos os períodos, embora os meses de maior temperatura tenham maior concentração dos dados em faixas superiores, com mediana ligeiramente mais elevada quando comparada aos meses dos períodos de menor temperatura. Observou-se também menor dispersão nos meses dos períodos de maior temperatura, sugerindo maior estabilidade da umidade relativa durante esse período climático.

O enraizamento das miniestacas teve variação ao longo do período do estudo, mantendo-se, entretanto, em níveis acima de 50% mesmo com o avanço da idade das minicepas. A associação positiva entre enraizamento e idade da minicepa indica que, diferentemente da produtividade, a capacidade de enraizamento não foi comprometida pelo envelhecimento das minicepas, sugerindo manutenção da competência rizogênica ao longo do tempo.

Esse comportamento pode estar relacionado à estabilidade do potencial fisiológico das brotações emitidas, bem como à manutenção de níveis adequados de auxinas endógenas e carboidratos solúveis, essenciais para a indução e o desenvolvimento de raízes adventícias. Além disso, o manejo nutricional contínuo do minijardim clonal pode ter contribuído para preservar a qualidade fisiológica das miniestacas, mesmo em minicepas mais antigas. Temperaturas mais elevadas tendem a acelerar o metabolismo celular e a atividade enzimática associada à rizogênese, enquanto maior umidade relativa reduz o estresse hídrico das miniestacas, favorecendo a sobrevivência e a formação de raízes.

A comparação do enraizamento médio entre meses do período de menor e maior temperatura evidenciou contraste climático consistente, com temperaturas mais elevadas e maior estabilidade da umidade relativa nos meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro. Essas condições estão amplamente associadas a maiores porcentagens de enraizamento em espécies florestais propagadas vegetativamente, uma vez que reduzem a transpiração excessiva e favorecem a manutenção do balanço hídrico das miniestacas. Foi possível observar que, nos períodos de maior temperatura, após quarenta dias de enraizamento, as mudas tinham resultados superiores, em maior volume e maior

comprimento de raízes quando comparadas às mudas enraizadas nos períodos de menor e maior temperatura (Figura 20).



Fonte: autor, 2026

Figura 20 Demonstração do crescimento em altura e do desenvolvimento radicular de mudas enraizadas nos meses de maior temperatura e de menor temperatura. UFSCar, Campus Sorocaba, 2026.

A manutenção da umidade relativa superior a 60% na casa de vegetação observada nos períodos de maior temperatura neste estudo pode ter contribuído para a redução da variabilidade do enraizamento, indicando um ambiente mais previsível e favorável ao processo de enraizamento de miniestacas. A espécie *T. micranthum* teve maior produção de miniestacas por minicepa durante os períodos de maior temperatura e, conseqüentemente, as maiores porcentagens de enraizamento nos meses de outubro, novembro, dezembro e janeiro.

Carvalho, (2019), estudando o enraizamento da espécie florestal *Tectona grandis*, ele descreve que a temperatura e umidade mais elevadas e maior fotoperíodo têm resultados benéficos aumentando o metabolismo e absorção de nutrientes pelas minicepas, contribuindo para um crescimento mais acelerado dos brotos (miniestacas jovens), o que favorece seu potencial de enraizamento. Existem amplas evidências de que

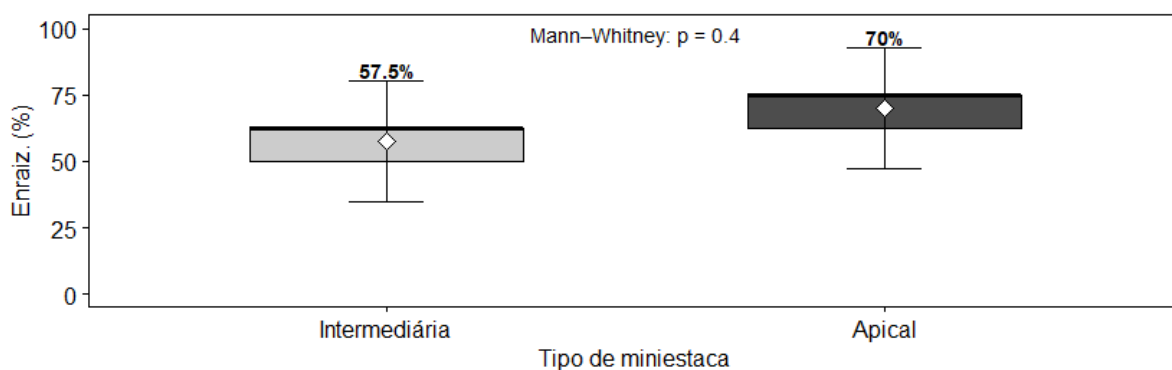
a formação de raízes adventícias em estacas de espécies arbóreas é geneticamente controlada por fatores internos da planta (Assis; Teixeira, 1998).

A avaliação do enraizamento de miniestacas e do comprimento das raízes de *Luehea divaricata* ao longo das quatro estações do ano observou que as maiores porcentagens de enraizamento e os maiores comprimentos de raiz foram obtidos nas coletas realizadas no verão. Em contraste, o inverno foi o período em que se observaram as menores porcentagens de enraizamento e o menor desenvolvimento radicular após o período de enraizamento (Silva et al., 2019). Observa-se grande variação no enraizamento de miniestacas de *T. micranthum* ao longo das estações do ano, em função das relações climáticas e ambientais. Dessa forma, o planejamento da produção de mudas por miniestaquia deve ser estruturado de modo a concentrar as atividades nos meses mais favoráveis ao enraizamento de miniestacas florestais, considerando especialmente as condições de temperatura e umidade.

4.2 Posição de miniestacas: apicais e intermediárias

4.2.1 Enraizamento de miniestacas: apicais e intermediárias

A porcentagem de enraizamento das miniestacas de *Trema micranthum* (L.) Blume não diferiu estatisticamente entre os tratamentos, com médias de 70,0% para miniestacas apicais e 57,5% para miniestacas intermediárias (Figura 21).



Fonte: autor, 2025

Figura 21 Boxplot da porcentagem de enraizamento (%) de miniestacas apicais e intermediárias de *T. micranthum* aos 40 dias. As análises foram realizadas no R (versão 4.3.1) A homogeneidade foi verificada pelo teste de Levene ($\alpha = 0,05$) e, diante da

ausência de normalidade e do número reduzido de repetições, as médias foram comparadas pelo teste de Mann–Whitney ($p \leq 0,05$). UFSCar, *Campus Sorocaba*, 2026.

Inicialmente, os dados foram submetidos ao teste de homogeneidade de variâncias (Levene, $\alpha = 0,05$), o qual indicou variâncias homogêneas entre os tratamentos. Em função da ausência de normalidade e do número reduzido de repetições, a comparação entre as porcentagens de enraizamento foi realizada pelo teste não paramétrico de Mann–Whitney, não sendo observada diferença estatística significativa entre os tratamentos ($p = 0,40$).

Embora ambos os tipos de miniestacas tenham apresentado percentual de enraizamento superior a 50%, não foi verificada diferença estatística significativa entre as posições avaliadas. Ainda assim, o padrão observado indica maior potencial de enraizamento das miniestacas apicais em comparação às intermediárias. Em termos práticos, de cada três miniestacas apicais encaminhadas ao setor de enraizamento, aproximadamente duas enraizavam.

Observou-se maior dispersão dos valores de enraizamento de miniestaca apical, evidenciada pelo maior intervalo interquartilico e pela amplitude dos dados, com valores variando de 37,5% a 100%. Em contraste, as miniestacas intermediárias tiveram menor dispersão, com distribuição mais concentrada dos valores de enraizamento, variando de 25% a 87,5%. Essa diferença na variabilidade entre os tratamentos pode ter contribuído para a ausência de diferença estatística significativa, apesar das diferenças numéricas observadas nas médias entre os tratamentos.

Estudos têm demonstrado que a posição da miniestaca exerce influência significativa sobre as porcentagens de enraizamento e sobrevivência de miniestacas florestais. Benin, Peres e Garcia (2013), ao testarem três tipos de miniestacas para a produção de mudas, verificaram que as obtidas das porções apicais são mais tenras e tem maior juvenilidade fisiológica, resultando em maiores porcentagens de enraizamento, embora este tipo de miniestaca é mais sensível a variações climáticas quando comparadas às miniestacas intermediárias e basais. No estudo em questão, conduzido com a propagação de *T. micranthum*, observou-se que as miniestacas apicais apresentaram 70% de enraizamento, enquanto as intermediárias registraram 57,5%, evidenciando superioridade do material apical quanto à capacidade de enraizar.

As miniestacas mais lenhosas, provenientes das porções intermediária e basal, tendem a ter maior capacidade de sobrevivência devido ao grau mais elevado de

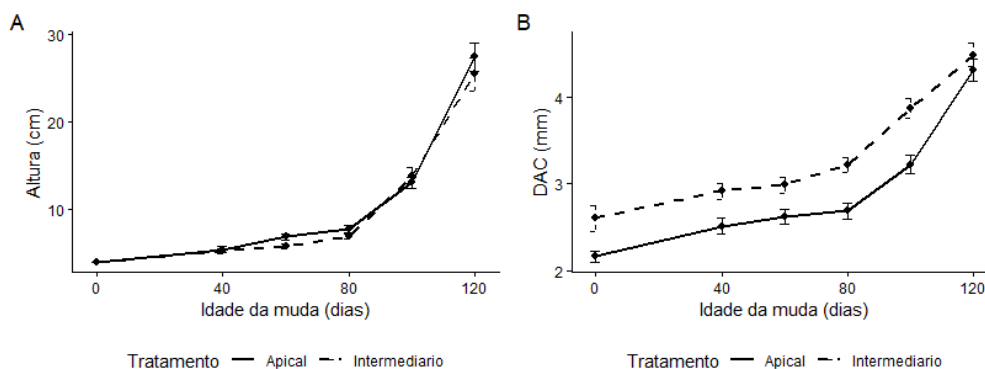
lignificação dos tecidos (Xavier et al., 2010). Entretanto, esse mesmo processo de lignificação, associado ao avanço da idade cronológica dos brotos, reduz a capacidade de enraizamento, limitando a eficiência desse tipo de propágulo em produção de mudas.

No caso de *Eucalyptus benthamii*, Benin, Peres e Garcia (2013) observaram aos 90 dias de idade as porcentagens de sobrevivência e enraizamento de 68,75% para miniestacas apicais, 45,83% para intermediárias e apenas 18,74% para basais, reforçando a tendência de maior eficiência fisiológica de enraizamento das porções mais jovens da brotação de minicepas. Em estudo semelhante com a espécie florestal nativa *Cariniana estrellensis* (Raddi) Kuntze, desenvolvido em Viçosa, Minas Gerais, Hernandez et al. (2013) verificaram que miniestacas apicais evidenciaram as maiores porcentagens de sobrevivência e enraizamento em relação às intermediárias no mesmo período de avaliação. Por outro lado, as intermediárias destacaram-se pela maior formação de calos, indicando diferenças fisiológicas relevantes entre os tipos de miniestaca.

No estudo de Xavier et al. (2003), concluíram que as miniestacas apicais mostraram-se eficientes no processo de enraizamento de *Cedrela fissilis* Vell, e que a utilização de reguladores de crescimento foi prejudicial, uma vez que, por se tratar de material jovem, em muitos casos reguladores à base de auxinas podem inibir a emissão de novas raízes. O uso de material juvenil em processos de propagação vegetativa de espécies lenhosas é considerado ideal pois o material tem maior possibilidade de enraizamento em comparação a matérias lignificados (Hartmann; Kester, 2011). Segundo Borges et al. 2011; Pereira et al. 2021), as miniestacas apicais conferem vantagens em relação às intermediárias na produção de mudas, em razão do menor grau de lignificação de seus tecidos e da manutenção da dominância apical, uma vez que o estímulo de crescimento ocorre no meristema apical da planta. Essa condição favorece a formação de mudas com crescimento mais direcionado e menor emissão de brotações laterais iniciais.

4.2.2 Crescimento em altura e diâmetro de mudas (apicais e intermediarias).

Não foi observada diferença estatística significativa entre os tratamentos apical e intermediário para o crescimento em altura e em diâmetro do coleto de mudas de *T. micranthum* ao longo do período experimental de 120 dias, embora diferenças visuais tenham sido observadas nas avaliações finais (Figura 22).



Fonte: autor, 2025

Figura 22 Crescimento em altura (A) e diâmetro do coleto – DAC (B) de mudas oriundas de miniestacas apicais e intermediárias ao longo do período experimental. Os pontos indicam as médias e as barras verticais o erro padrão; linhas contínuas representam o tratamento apical e tracejadas o intermediário. A homogeneidade foi verificada pelo teste de Levene ($\alpha = 5\%$) e os dados foram analisados por modelos lineares mistos. UFSCar, Campus Sorocaba, 2025.

Entretanto, essa diferença não foi significativa ($p = 0,27$). Para o diâmetro do colo, as distribuições foram semelhantes entre os tratamentos, também sem diferença significativa, e os maiores incrementos observados nas mudas intermediárias ($p = 0,41$). Esses resultados sugerem que, apesar de tendências visuais de maior crescimento das miniestacas apicais, não houve efeito estatístico do tipo de estaca sobre o crescimento em altura e diâmetro ao final do período avaliado. Esse resultado pode ser atribuído ao fato de que, a partir do décimo quinto dia após a propagação até os 120 dias de avaliação, todas as mudas receberam a mesma formulação de adubação e a mesma lâmina de irrigação diária (12 mm dia^{-1}), o que provavelmente contribuiu para a homogeneização do desenvolvimento das plantas nos dois tratamentos (Figura 23).



Fonte: autor, 2025

Figura 23 Miniestacas C (apical) e D (intermediária) de *T. micranthum* aos 40 dias após o estaqueamento. As mudas apicais evidenciam crescimento sem brotação de gemas, enquanto as intermediárias apresentam crescimento em altura associado à brotação de gemas laterais do ramo. UFSCar, *Campus Sorocaba*, 2025

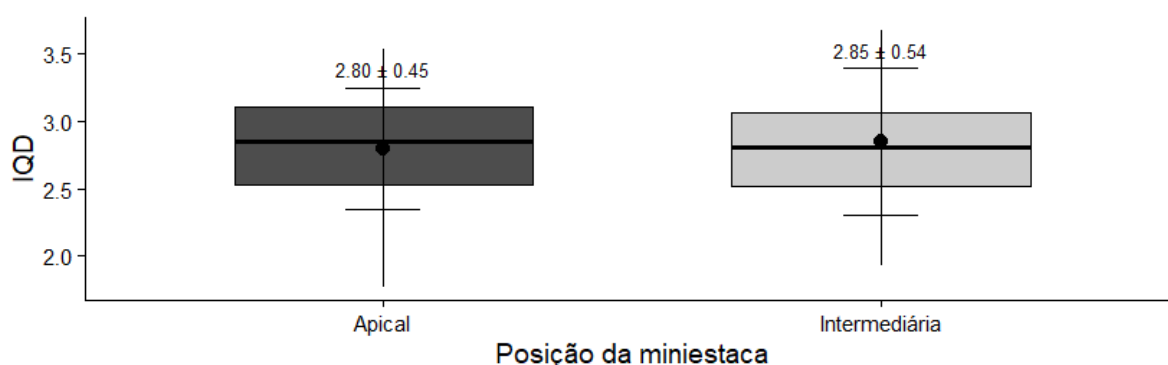
O crescimento em altura e diâmetro do coleto são considerados os principais indicadores de sucesso do enraizamento de miniestacas (Fernandes et al., 2018). Os parâmetros morfológicos são os mais utilizados na determinação do padrão de qualidade das mudas, tendo uma compreensão mais intuitiva por parte dos viveiristas, pois são fatores como irrigação, adubação e manejo dentro do viveiro que pode expressar com mais exatidão estas características (Gomes et al., 2002).

O substrato influencia significativamente o crescimento das mudas, uma vez que deve conter boas propriedades físicas e químicas, como disponibilidade de nutrientes, aeração, retenção de umidade e facilidade de penetração radicular das raízes (Maranho; Paiva; Paula, 2013). Todos esses fatores em conjunto favorecem a formação de mudas com sistema radicular bem desenvolvido e com raízes em quantidade adequada, o que possibilita o crescimento equilibrado da parte aérea. Portanto, não existem um consenso geral no Brasil sobre o padrão ideal de altura e diâmetro de coleto de mudas nativas (Gomes et al., 2019), sendo que o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, por meio da implementação da Lei de Sementes e Mudanças de Espécies Florestais (Lei

10.711, Decreto 5.153 de 2004) tem sugerido para várias espécies florestais nativas e exóticas é o padrão mínimo de 3 mm de diâmetro do colo e 20-22 cm de altura (Pacheco, 2010).

4.2.3 Índice de Qualidade de Dickson

Não houve diferença estatística significativa para o Índice de Qualidade de Mudanças (IQD) entre miniestacas apicais e intermediárias de *T. micranthum*, avaliadas aos 120 dias após o estaqueamento. Os valores médios observados foram semelhantes entre os dois tratamentos (Figura 24).



Fonte: Autor, 2025

Figura 24 Boxplot do Índice de Qualidade de Mudanças (IQD) de *T. micranthum* oriundas de miniestacas apicais e intermediárias. O gráfico apresenta a distribuição dos valores médios por tratamento, com médias e desvios-padrão. UFSCar, Campus Sorocaba, 2025.

A análise estatística indicou que os dados atenderam aos pressupostos de normalidade (teste de Shapiro–Wilk) e homogeneidade de variâncias (teste de Levene; $p > 0,05$). A comparação entre os tratamentos, realizada por meio do teste *t* de Student, não mostrou diferença estatisticamente significativa entre as posições da miniestaca quanto ao IQD ($p > 0,05$).

As mudas provenientes de miniestacas apicais teve elevada dominância apical, caracterizando um crescimento vertical mais uniforme e com melhor definição do eixo principal. Por outro lado, as mudas provenientes de miniestacas intermediárias tiveram como principal fonte de regeneração as gemas laterais, resultando em maior ocorrência

de ramificações. Essa característica morfológica implicou em aproximadamente 40% de bifurcação entre as mudas obtidas de material intermediário (Figura 25).



Fonte: autor, 2025

Figura 25 Comparação visual entre mudas provenientes de miniestacas apical (esquerda) e intermediária (direita) de *T. micranthum*. A imagem apresentada em altura (vertical cm) e comprimento (horizontal). Local da foto viveiro de mudas nativas professor Alberto Martinelli de Souza. UFSCar Campus de Sorocaba, 2025.

Tal padrão possui relevância silvicultural, pois a ocorrência de bifurcações pode comprometer a formação de fuste retilíneo, característica desejável na produção de mudas destinadas a fins madeireiros. A manutenção da dominância apical relaciona-se diretamente à qualidade estrutural da muda, influenciando sua conformação arquitetônica e o potencial de crescimento em campo.

Por outro lado, em projetos de restauração ecológica, a presença de bifurcações não constitui, necessariamente, um atributo negativo para o desempenho pós-plantio. Nesses contextos, a forma do fuste tende a assumir menor importância frente à capacidade de estabelecimento, cobertura do solo e interação ecológica. Eventuais implicações restringem-se, sobretudo, à fase de manejo em viveiro, quando a bifurcação pode demandar intervenções para padronização morfológica ou adequação aos critérios de qualidade estabelecidos. Quanto maior for o valor desse índice de qualidade de Dickson, melhor será o padrão de qualidade das mudas (Gomes, 2002). Neste estudo as mudas de *T. micranthum* produzidas de miniestacas intermediárias tiveram um IQD maior que as

mudas provenientes de material apical, isto aconteceu porque o IQD é uma fórmula baseada no peso do material de parte aérea e do sistema radicular da muda, neste caso com a bifurcação das mudas intermediária fez o IQD aumentar significativamente. Porém estatisticamente, não teve diferenças.

A propagação vegetativa por miniestaquia de *Handroanthus heptaphyllus* em dois tipos de miniestacas, apical e intermediária, evidenciou que as mudas produzidas tiveram índice de qualidade de Dickson (IQD) médio próximo a 0,80 independentemente da origem das miniestacas (Freitas et al., 2016). Contudo, os autores do estudo ressaltam a necessidade de novas pesquisas para aprimorar os dados da pesquisa.

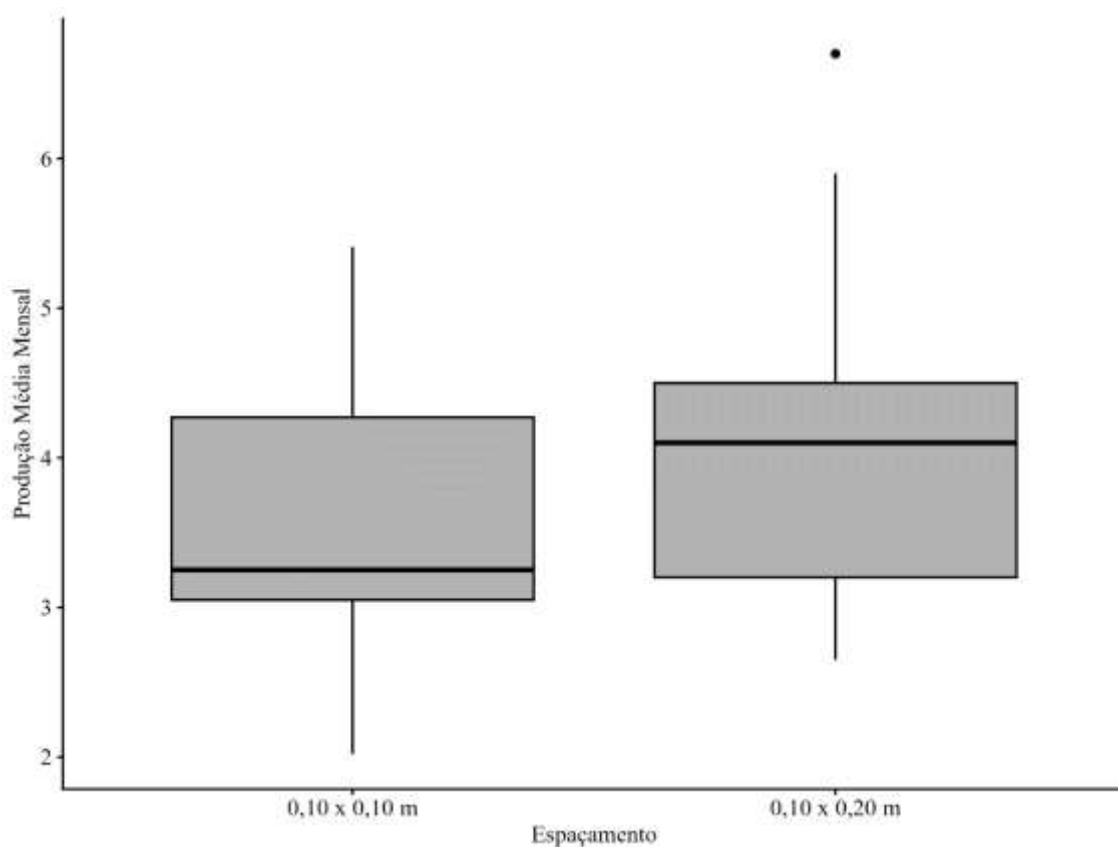
Apesar de, em muitos casos, o índice de qualidade de Dickson (IQD) exigir métodos destrutivos para a avaliação da qualidade de mudas em viveiro, a literatura recomenda como parâmetros ideais a altura das mudas entre 20 e 35 cm e o diâmetro do coleto entre 5 e 10 mm (Gonçalves et al., 2021; Gomes et al., 2002; Viégas, 2015).

Na produção de mudas de *T. micranthum* em viveiro, independentemente do tipo de miniestaca utilizado (apical ou intermediária), as plantas tendem a expressar bons valores de índice de qualidade de Dickson (IQD). Assim, cabe ao viveirista definir previamente a finalidade da muda para planejar adequadamente a escolha do tipo de miniestaca. Mudanças ramificadas ou bifurcadas não representam limitação significativa quando destinadas a programas de restauração florestal; entretanto, para fins de produção de madeira, tanto a presença de bifurcações quanto as dificuldades de manejo em viveiros de mudas provenientes de miniestacas intermediárias devem ser levadas em consideração no processo de decisão.

4.3 Espaçamentos entre minicepas

4.3.1 Produtividade por espaçamento

A produtividade mensal de miniestacas não diferiu estatisticamente entre os espaçamentos avaliados neste estudo. O espaçamento $0,10 \times 0,20$ m resultou em mediana superior ($\approx 4,1$ miniestacas por minicepa mês^{-1}) em comparação ao espaçamento $0,10 \times 0,10$ m ($\approx 3,2$ miniestacas por minicepa mês^{-1}), indicando maior rendimento individual das minicepas sob menor densidade de cultivo. A variabilidade dos dados, expressa pela mediana \pm MAD, mostrou-se mais elevada no espaçamento mais amplo, sugerindo maior heterogeneidade produtiva entre as minicepas. (Figura 26).



Fonte: autor, 2026

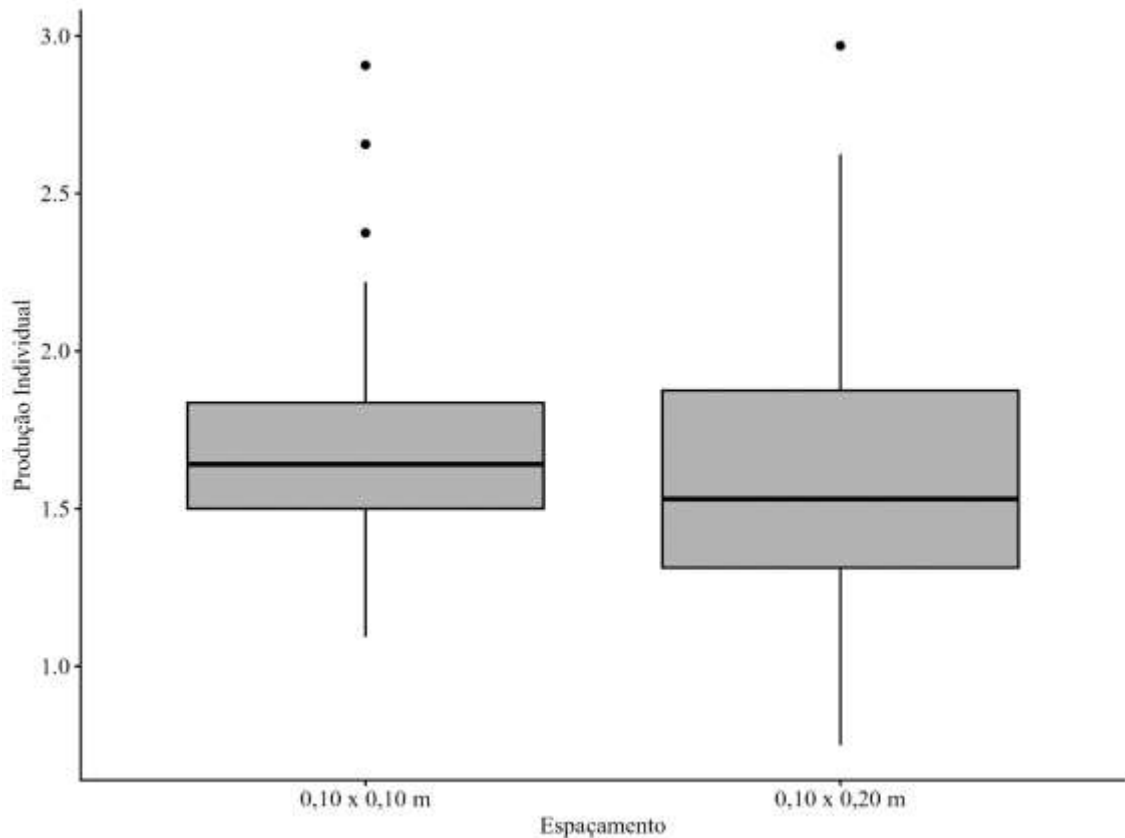
Figura 26 Produtividade média mensal de miniestacas de *T. micranthum* em dois espaçamentos no minijardim clonal ($0,10 \times 0,10$ m e $0,10 \times 0,20$ m), de maio de 2024 a maio de 2025. As linhas dentro das caixas representam a mediana e os limites superiores e inferiores com valor de $P = 0,1475$. Universidade Federal de São Carlos, *Campus* de Sorocaba, 2026.

O menor espaçamento entre plantas ($0,10 \times 0,10$ m), com 90 minicepas por metro linear de minijardim, promoveu maior adensamento, o que contribuiu para a redução da infestação de plantas daninhas e facilitou o manejo operacional. Entretanto, o aumento da densidade intensificou a competição intraespecífica por luz, água e nutrientes, o que pode ter elevado o estresse fisiológico das minicepas. Esse fator pode ter contribuído para o maior número absoluto de substituições registrado ao longo do estudo ($n = 12$).

Em contrapartida, o espaçamento mais amplo entre minicepas ($0,10 \times 0,20$ m), com 48 minicepas por metro linear, mostrou-se mais suscetível à ocorrência de plantas daninhas, potencializando a competição interespecífica por recursos. Ainda assim, registrou-se menor número absoluto de substituições ($n = 8$). Embora a sobrevivência percentual tenha sido ligeiramente inferior nesse espaçamento, essa diferença não se refletiu em maior número absoluto de perdas, possivelmente em função do menor contingente inicial de minicepas.

A porcentagem média de sobrevivência das minicepas foi de 86,67% no espaçamento $0,10 \times 0,10$ m, com registro de 12 perdas ao longo do experimento. No espaçamento $0,10 \times 0,20$ m, a sobrevivência foi de 83,34%, totalizando 8 minicepas mortas. Embora a diferença percentual entre os tratamentos tenha sido pequena ($\approx 3,3$ pontos percentuais), observa-se maior número absoluto de substituições no espaçamento mais adensado, o que pode estar relacionado à intensificação da competição intraespecífica por recursos.

Esses resultados sugerem que o maior adensamento tende a maximizar a produtividade total por área, porém pode aumentar o nível de competição entre minicepas, demandando maior atenção ao manejo. Ainda assim, durante o período do estudo, esse possível aumento de estresse não se traduziu em redução expressiva da sobrevivência. A produtividade individual por minicepa foi superior no espaçamento $0,10 \times 0,20$ m em comparação ao espaçamento $0,10 \times 0,10$ m (Figura 27), evidenciando que a menor densidade favoreceu o desempenho produtivo individual, possivelmente em função da menor competição por luz, água e nutrientes.

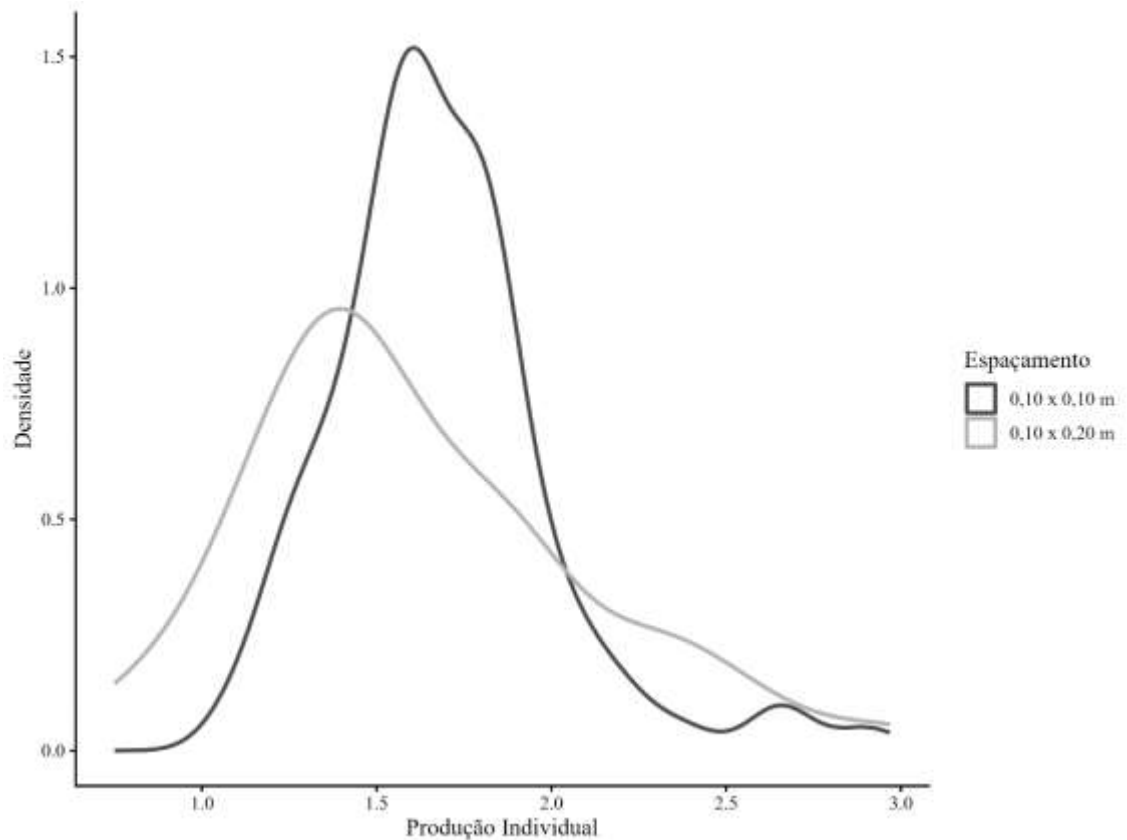


Fonte: autor, 2026

Figura 27 Produtividade média individual por minicepa de *T. micranthum* em dois espaçamentos no minijardim clonal (0,10 × 0,10 m e 0,10 × 0,20 m). As caixas representam os intervalos interquartis (Q1–Q3); a linha central indica a mediana, e os pontos fora das caixas correspondem a valores atípicos. Observa-se que o espaçamento mais amplo (0,10 × 0,20 m) teve a maior produtividade média individual em relação ao espaçamento mais adensado (0,10 × 0,10 m). UFSCar, *Campus* de Sorocaba, 2026.

Em contrapartida, embora o espaçamento de 0,10 × 0,10 m forneceu maior produtividade média total por área, o aumento da densidade resultou em maior competição entre minicepas, reduzindo a produtividade média individual por planta. Esse comportamento é típico em sistemas de minijardim clonal, nos quais o adensamento eleva a produção média total, mas tende a limitar o desempenho individual devido a competição por luz, nutrientes e espaço (Cunha et al, 2005).

A distribuição da produtividade individual (densidade de produção) das minicepas de *T. micranthum* teve comportamento semelhante entre os dois espaçamentos avaliados no minijardim clonal (Figura 28).



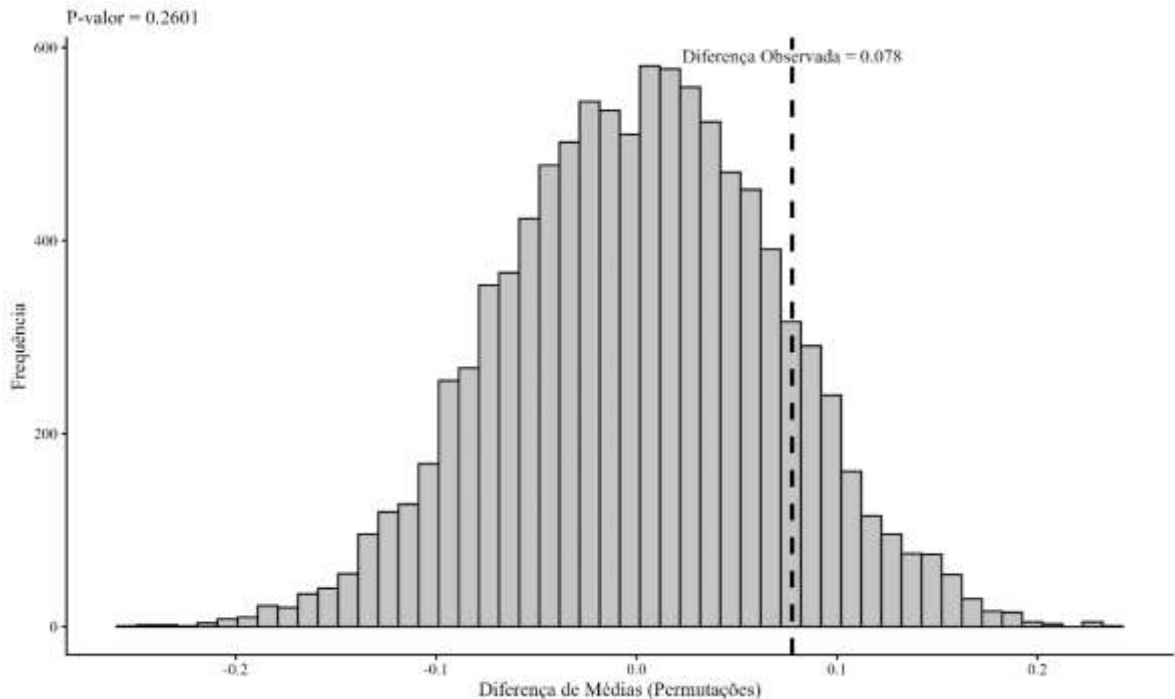
Fonte: dados do autor, 2026

Figura 28 Distribuição da produtividade individual (densidade de miniestacas) de minicepas de *T. micranthum* em dois espaçamentos (0,10 × 0,10 m e 0,10 × 0,20 m), representada por curvas de densidade. Observa-se maior concentração e menor dispersão no espaçamento adensado, enquanto o mais amplo apresenta maior variação. A verificação da normalidade foi realizada (Shapiro–Wilk) e homogeneidade (Levene), sem diferença significativa ($p > 0,05$). UFSCar, *Campus Sorocaba*, 2026.

No espaçamento adensado (0,10 × 0,10 m), a produtividade individual mostrou-se mais concentrada em torno da média, refletindo maior uniformidade entre as minicepas, porém menor desempenho individual máximo. A sobreposição das distribuições indica que não houve diferença estatística significativa ($p > 0,05$) entre os espaçamentos, embora o padrão visual revele tendências distintas de resposta ao maior adensamento de minicepas no minijardim. Esses resultados indicam que o adensamento aumenta a eficiência produtiva por área, enquanto o maior espaçamento favorece o vigor individual das minicepas.

A comparação da produtividade individual das minicepas de *T. micranthum* entre os dois espaçamentos (0,10 × 0,10 m e 0,10 × 0,20 m) foi avaliada por meio de um teste de permutação, considerando a possibilidade de violação dos pressupostos de

normalidade e homogeneidade de variâncias (Figura 29). A distribuição das diferenças médias obtidas a partir de 10.000 permutações aleatórias, representando a distribuição nula esperada caso não houvesse diferença real entre os espaçamentos.



Fonte: autor, 2026.

Figura 29 Teste de permutação para comparar a produtividade média de miniestacas nos espaçamentos $0,10 \times 0,10$ m e $0,10 \times 0,20$ m. O histograma apresenta as diferenças de médias obtidas em 10.000 permutações, simulando a hipótese nula. A linha tracejada indica a diferença observada (0,078). O valor de p (0,2601) demonstra ausência de diferença significativa entre os espaçamentos ao nível de 5%. UFSCar, *Campus Sorocaba*, 2025.

A linha tracejada indica a diferença média observada entre os espaçamentos (0,078), que se situa próxima ao centro da distribuição. O valor de p obtido ($p = 0,2601$) demonstra que a probabilidade de ocorrer uma diferença igual ou maior que a observada, assumindo a hipótese nula de igualdade entre os grupos, é superior a 5%. Dessa forma, não foi observada diferença estatisticamente significativa na produtividade individual média das minicepas entre os espaçamentos avaliados. Esse resultado sugere que o aumento do espaçamento entre plantas, de $0,10 \times 0,10$ m para $0,10 \times 0,20$ m, não influenciou de forma expressiva o desempenho produtivo individual, indicando que a densidade do minijardim clonal não comprometeu a emissão de miniestacas por minicepa ao longo do período experimental.

A ausência de diferença significativa na produtividade individual de minicepas entre os espaçamentos avaliados ($0,10 \times 0,10$ m e $0,10 \times 0,20$ m) indica que a densidade de plantio não interferiu de forma expressiva na emissão de miniestacas de *T. micranthum*. Resultados semelhantes foram observados em minijardins clonais de *Eucalyptus grandis* \times *E. urophylla*, nos quais variações no espaçamento entre $0,10 \times 0,10$ m e $0,10 \times 0,12$ m não alteraram significativamente a produtividade de brotações por minicepa, sugerindo que fatores fisiológicos e nutricionais tendem a exercer maior influência do que a densidade de plantio (Souza et al., 2014). Em espécies nativas, como *Cedrela fissilis* e *Handroanthus serratifolius* (Vahl) S.Grose, também se verificou que o controle de nutrição e umidade do substrato é determinante para o vigor e a produção de miniestacas, enquanto o espaçamento influencia mais o manejo operacional do minijardim do que a produção propriamente dita (Xavier et al., 2003).

Em sistemas mais adensados de minijardim clonal, observa-se a intensificação da competição por luz e nutrientes, o que tende a reduzir o acúmulo de reservas nas plantas e a comprometer o vigor das brotações sucessivas, reduzindo a vida útil das minicepas. (Hartmann; Kester, 2011; Oliveira et al., 2012; Assis; Neto; Alfenas, 2004; Xavier; Wendling, Silva, 2009). Esses efeitos são amplamente documentados em minijardins clonais, nos quais o maior espaçamento tende a favorecer a interceptação luminosa, e menor competição entre plantas contribuindo para maior sobrevivência ao longo do ciclo produtivo (Alfenas et al., 2009; Assis; Neto; Alfenas, 2004; Brondani, 2012). Minicepas submetidas a maior competição por nutrientes e espaço tendem a ter maior estresse fisiológico e, conseqüentemente, menor longevidade quando comparadas àquelas conduzidas em espaçamentos maiores e com menor competição.

No presente estudo, o espaçamento mais adensado ($0,10 \times 0,10$ m) favoreceu maior aproveitamento da área útil, em função do maior número de minicepas por unidade de espaço e da menor infestação por plantas daninhas. Por outro lado, o espaçamento mais amplo ($0,10 \times 0,20$ m) reduziu a intensidade da competição intraespecífica por luz, água e nutrientes, proporcionando maior conforto fisiológico às minicepas. Ainda assim, o desempenho produtivo geral mostrou-se semelhante entre os tratamentos, indicando que a variação na densidade de cultivo não comprometeu significativamente a capacidade de brotação. Esse equilíbrio sugere elevada plasticidade ecológica de *T. micranthum*, evidenciada pela manutenção da produtividade sob diferentes níveis de adensamento, característica compatível com seu hábito pioneiro e reconhecido potencial de regeneração vegetativa.

A produção de miniestacas no decorrer das coletas tiveram heterogeneidade com relação ao número de miniestacas produzidas, resultado esse também compartilhado com demais trabalhos realizados com outras espécies. Pesquisas tem reportado que a produção de miniestacas em sistema de minijardim clonal de *Eucalyptus* oscila de acordo com as coletas ao longo do tempo, sendo comum a ocorrência de picos de produção seguidos de decréscimos, ou seja, efeito cíclico, ressaltando como o principal fator que produz esse efeito a temperatura (Cunha et al., 2009; Titon et al., 2003) Este efeito cíclico também foi observado por Titon (2003); Xavier et al. (2003); Ferriani (2006); e Rosa (2006), com *Eucalyptus grandis*, *Cedrella fissilis*, *Piptocarpha angustifolia* e *Eucalyptus dunnii*, respectivamente. Wendling et al. (2020) realizaram onze coletas consecutivas de miniestacas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) e verificaram variações entre a produtividade de miniestacas, com diminuição em períodos específicos e posterior acréscimo na produção de brotações (miniestacas).

O espaçamento entre minicepas no minijardim clonal não evidenciou diferença estatisticamente significativa na porcentagem média de enraizamento das miniestacas de *T. micranthum* ($p > 0,05$). Esse resultado indica que o espaçamento entre minicepas no minijardim clonal não influenciou de forma expressiva o potencial rizogênico das brotações, sugerindo que o enraizamento depende mais de fatores fisiológicos e ambientais do que do espaçamento adotado (Figura 30).

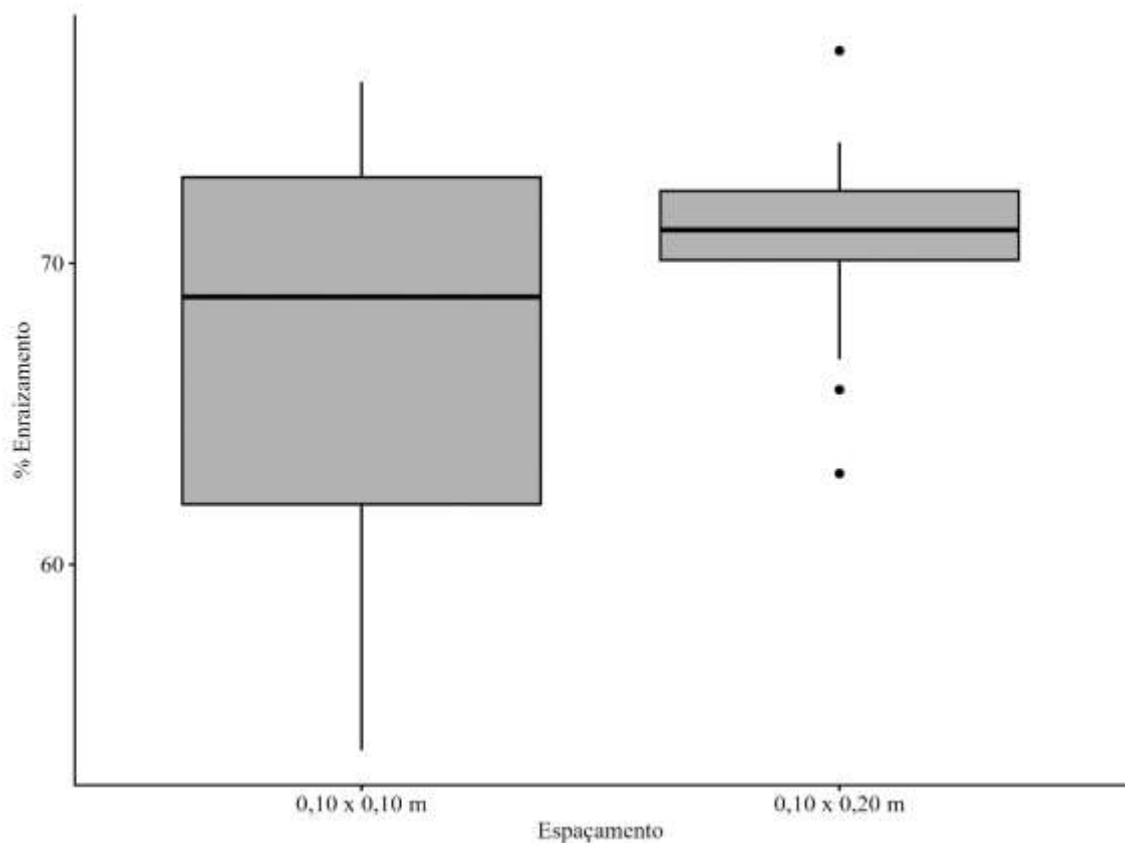


Figura 30 Porcentagem média de enraizamento de miniestacas de *T. micranthum* oriundas de minicepas cultivadas nos espaçamentos 0,10 x 0,10 m e 0,10 x 0,20 m. As caixas representam o intervalo interquartil (Q1–Q3), a linha central indica a mediana e os pontos externos correspondem a valores atípicos. Verifica-se comportamento semelhante entre os espaçamentos, sem diferença estatisticamente significativa. UFSCar, *Campus Sorocaba*, 2026.

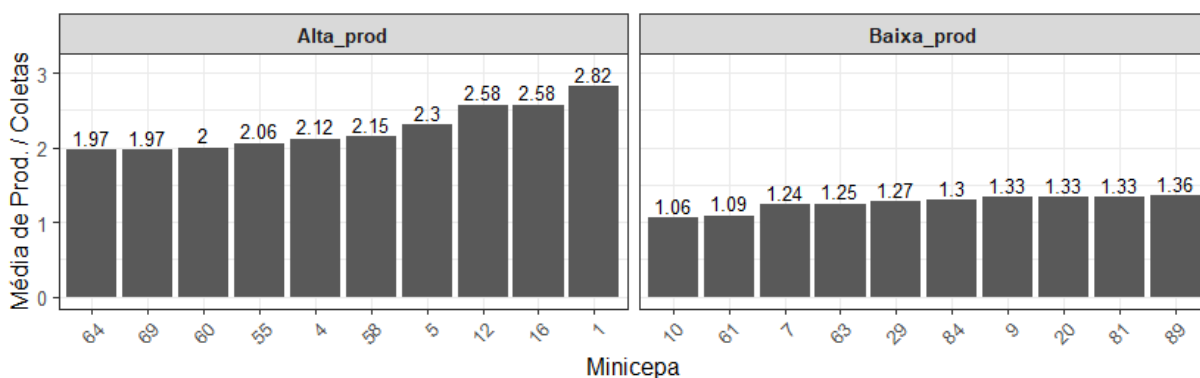
Após a saída da casa de vegetação, as miniestacas permaneceram por dez dias em casa de sombra com 50% de luminosidade, visando à aclimatação das mudas. Nesse período, observou-se mortalidade de aproximadamente 2%. No estudo de Valverde et al, (2014), verificou-se que espécies propagadas vegetativamente com baixo índice de mortalidade após a saída da casa de vegetação apresentam melhor adaptação às mudanças ambientais ocorridas durante o processo de enraizamento. Esse comportamento constitui um importante indicador de que o enraizamento adventício foi adequadamente estabelecido ainda no período de permanência na casa de vegetação.

Espécies florestais que registram porcentagem de enraizamento superior a 50% de miniestacas sem melhoramento ou por indução por fitoreguladores, são particularmente espécies promissoras para programas de melhoramento genético e produção de mudas clonais, pois permitem ampliar a escala de produção de mudas, ao mesmo tempo,

selecionar indivíduos superiores com características de interesse silvicultural (Xavier; Silva, 2009). A capacidade de enraizamento de miniestacas florestais favorece a multiplicação rápida de espécies desejáveis, viabilizando a criação de populações clonais homogêneas. Espécies florestais nativas tem sua multiplicação clonal em prol de restauração ecológica ou fins comerciais (Stuepp et al., 2018). A espécie deste estudo tem um grande potencial para uso como planta medicinal, sendo necessário a comunidade científica ter conhecimento de métodos de multiplicação desta espécie em larga escala.

4.3.2 Ranqueamento de produtividade de miniestacas nos espaçamentos entre minicepas

No minijardim clonal conduzido no espaçamento de 0,10 × 0,10 m, as dez minicepas classificadas no grupo de alta produtividade corresponderam às minicepas M1, M16, M12, M5, M58, M4, M55, M60, M69 e M64, as quais exibiram produtividades médias por coleta variando entre 2,0 e 2,8 miniestacas por coleta. Em contraste, o grupo de baixa produtividade (*Baixa_prod*) foi constituído pelas minicepas M10, M61, M7, M63, M29, M84, M9, M20, M81 e M89, cujas produtividades médias por coleta situaram-se entre 1,06 e 1,36 miniestacas por coleta (Figura 31).

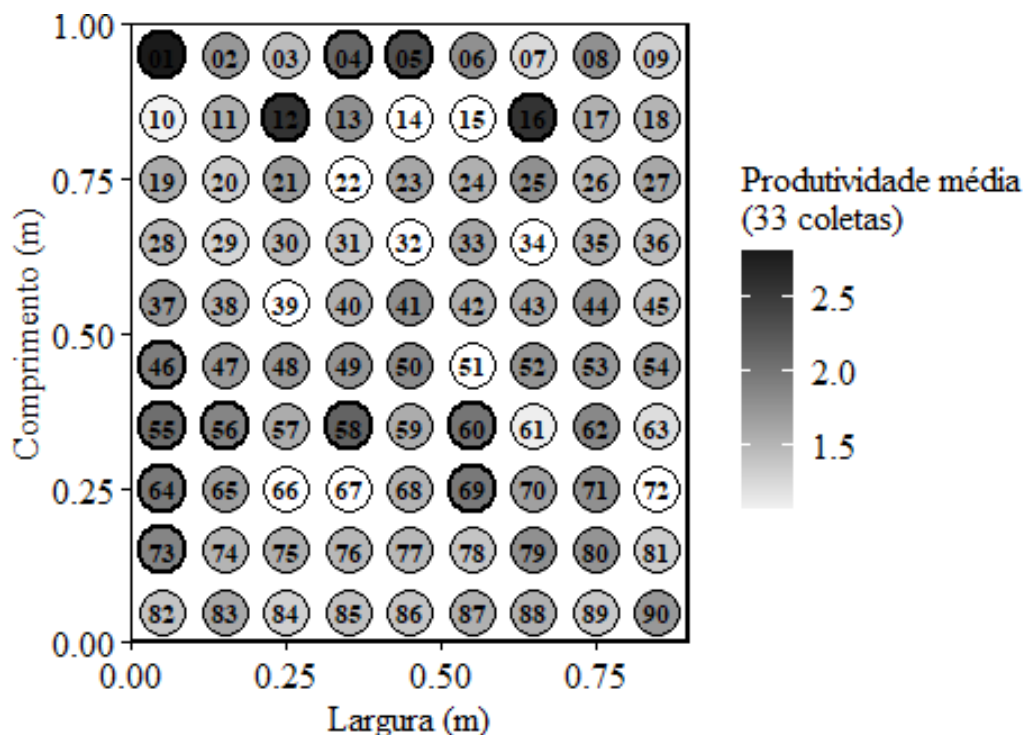


Fonte: autor, 2026

Figura 31 Ranqueamento e seleção das minicepas de *T. micranthum* com alta produtividade média (*Alta_prod*) e baixa produtividade média (*Baixa_prod*), com base na produtividade média por coleta no minijardim clonal conduzido no espaçamento de 0,10 × 0,10 m, no período de maio de 2024 a maio de 2025. UFSCar, *Campus* de Sorocaba, 2026.

A análise espacial da produtividade de miniestacas de *T. micranthum* evidencia que o desempenho produtivo das minicepas no espaçamento 0,10 x 0,10 m, não esteve restrito às posições periféricas do minijardim clonal. Minicepas com maiores valores de produtividade distribuíram-se entre as bordas e a região central do sistema, indicando que

a localização espacial, por si só, não determinou o padrão de produção de miniestacas. Assim, nem sempre as minicepas posicionadas na borda do minijardim corresponderam às mais produtivas ao longo das 32 coletas sucessivas (Figura 36).



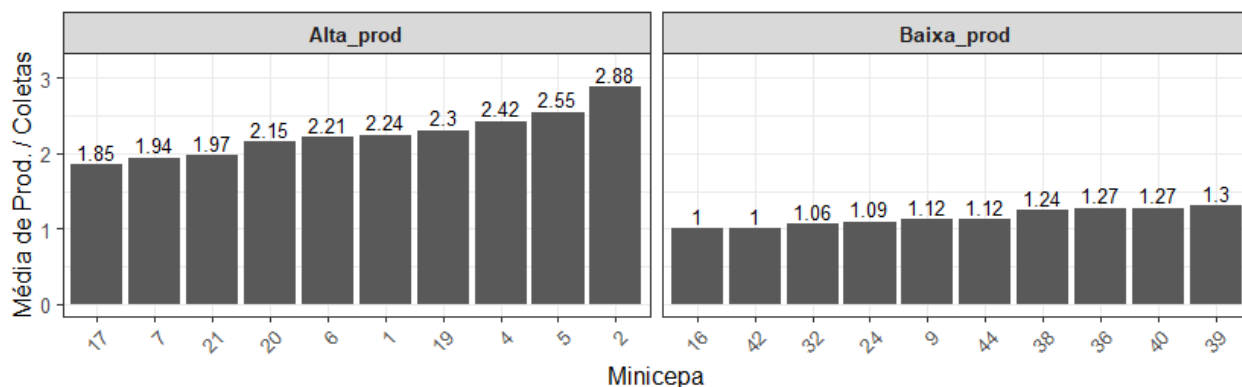
Fonte: autor, 2026

Figura 32 Distribuição espacial da produtividade média de miniestacas por minicepa em minijardim clonal de *T. micranthum* conduzido no espaçamento de 0,10 × 0,10 m. Os círculos representam as minicepas, numeradas de 1 a 90 conforme sua posição no minijardim, enquanto o gradiente de cor indica a produtividade média de miniestacas obtida ao longo de 33 coletas, sendo tons mais escuros associados a maiores valores de produtividade. UFSCar, *Campus* de Sorocaba, 2026.

Mesmo sob condições de maior adensamento no minijardim clonal (0,10 × 0,10 m), não foram verificadas diferenças na distribuição espacial das minicepas mais produtivas. Ou seja, a posição das minicepas no canteiro não influenciou significativamente sua produtividade. A partir da análise conjunta da distribuição espacial e do desempenho produtivo, foi possível classificar as minicepas em dois grupos distintos, com base na produtividade média de miniestacas: alta produtividade (Alta_prod) e baixa produtividade (Baixa_prod).

As minicepas com maior desempenho produtivo no espaçamento 0,10 × 0,20 m foram classificadas no grupo de alta produtividade (Alta_prod), correspondendo às minicepas M2, M5, M4, M19, M1, M6, M20, M21, M7 e M17. Em contraste, as dez

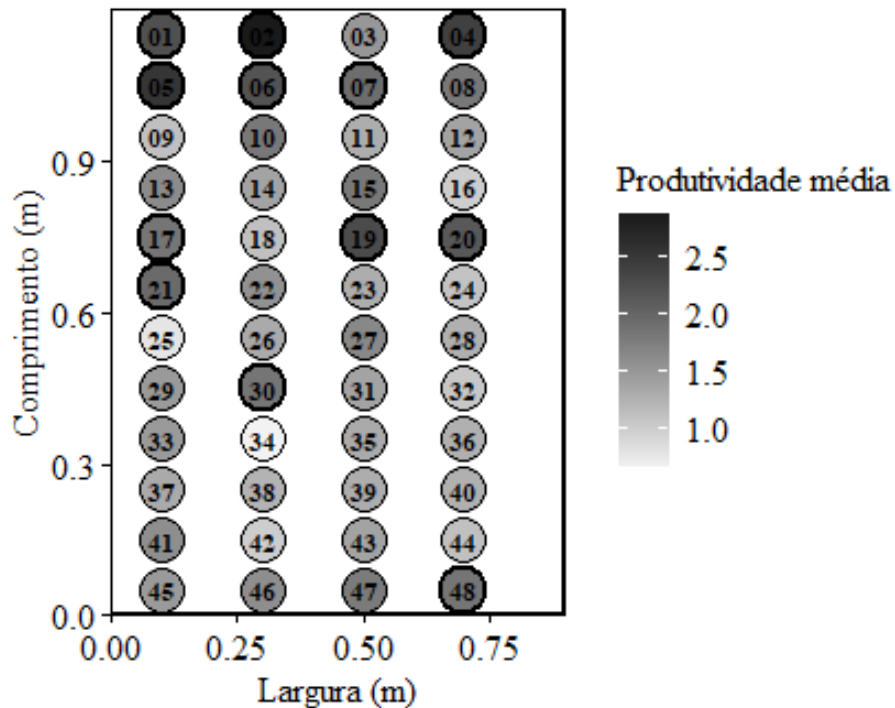
minicepas com menor desempenho produtivo foram agrupadas na categoria de baixa produtividade (Baixa_prod), sendo representadas pelas minicepas M39, M40, M36, M38, M44, M9, M24, M32, M42 e M16 (Figura 33).



Fonte: autor, 2026

Figura 33 Ranqueamento e seleção das minicepas de *T. micranthum* com alta produtividade média (Alta_prod) e baixa produtividade média (Baixa_prod), considerando a produtividade média por coleta no minijardim clonal no espaçamento 0,10 × 0,20 m, de maio de 2024 a maio de 2025. A média das produtividades das minicepas de Alta_prod é 42% acima da de baixa_prod. UFSCar, Campus de Sorocaba, 2026.

A distribuição espacial da produtividade média das minicepas no minijardim clonal conduzido no espaçamento de 0,10 × 0,20 m evidencia um padrão relativamente homogêneo ao longo do sistema, considerando as 33 coletas sucessivas. Observa-se que minicepas com diferentes níveis de produtividade ocorreram tanto em posições centrais quanto periféricas do minijardim, sem a formação de gradientes espaciais evidentes associados à posição ocupada no minijardim clonal (Figura 34).



Fonte: autor, 2026

Figura 34 Distribuição espacial da produtividade média de miniestacas de *T. micranthum* por minicepa em minijardim clonal conduzido no espaçamento de $0,10 \times 0,20$ m. Os círculos representam as minicepas, numeradas conforme sua posição no minijardim, e o gradiente de cor indica a produtividade média de miniestacas obtida ao longo de 33 coletas sucessivas, com tons mais escuros associados a maiores valores de produtividade. UFSCar, *Campus* de Sorocaba, 2026.

Nesse espaçamento, caracterizado por maior distanciamento entre plantas, e, conseqüentemente, por menor competição interespecífica e maior disponibilidade de luz, a produtividade média das minicepas mostrou-se distribuída de forma ampla no minijardim clonal, indicando que o desempenho produtivo não esteve concentrado em regiões específicas do minijardim clonal ao longo do período avaliado.

A distribuição espacial da produtividade das minicepas de *T. micranthum* nos dois espaçamentos avaliados não evidenciou gradiente associado à posição ocupada no canteiro, indicando que o desempenho produtivo não esteve condicionado a efeitos de bordadura ou à localização central no sistema. Em minijardins clonais, especialmente sob maior adensamento, espera-se que variações microambientais relacionadas à interceptação luminosa, circulação de ar e competição por recursos possam influenciar a emissão de brotações (Xavier; Xending; Silva, 2013). Contudo, no presente estudo, a

homogeneidade observada sugere que o sistema semi-hidropônico adotado promoveu uniformidade nutricional e hídrica suficiente para mitigar variações espaciais.

Resultados semelhantes foram descritos por (Souza et al., 2014) em sistemas clonais de *Eucalyptus*, nos quais a fertirrigação contínua reduziu diferenças produtivas entre posições do canteiro. Da mesma forma, (Pires et al., 2017) verificaram que, em minijardins bem manejados, o efeito da posição tende a ser secundário quando comparado à variabilidade fisiológica intrínseca das minicepas. Sob esse contexto, a ausência de padrão espacial reforça que a heterogeneidade produtiva observada neste trabalho está mais associada a fatores fisiológicos individuais do que a condições ambientais locais dentro do minijardim clonal. Mesmo sob condições ambientais, nutricionais e de manejo uniformes, observou-se diferença de até 42% na produtividade média entre minicepas classificadas como Alta_prod e Baixa_prod. Tal comportamento evidencia a existência de variabilidade fisiológica intrínseca entre indivíduos mantidos sob o mesmo sistema de cultivo.

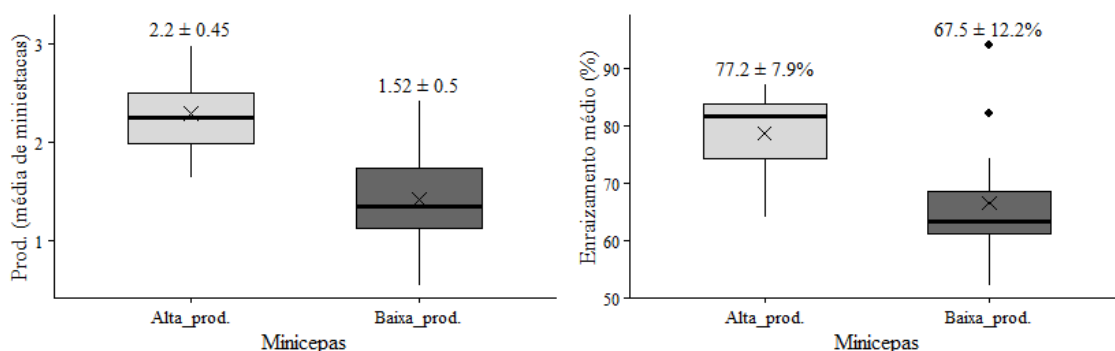
Em sistemas de propagação vegetativa, diferenças na capacidade produtiva das minicepas podem estar associadas ao vigor vegetativo, à atividade meristemática e ao balanço entre crescimento vegetativo e reservas internas da planta (Hartmann et al., 2011). A literatura aponta que o estado fisiológico da minicepa exerce influência direta sobre a taxa de emissão de brotações (Wendling; Xavier, 2005), porém cada minicepa mesmo com mesmas condições ambientais e nutricionais terá brotações diferentes, mesmo quando o material genético for semelhante, como discutido por (Nión et al., 2026) em estudos com espécies florestais propagadas vegetativamente. Esses autores demonstraram que diferenças no vigor das plantas minicepas refletem-se diretamente na produtividade e na qualidade das miniestacas produzidas.

4.3.3 Enraizamento de miniestacas provenientes das minicepas mais produtivas do minijardim clonal

Considerando o sistema de minijardim clonal conduzido sob dois espaçamentos entre plantas ($0,10 \times 0,10$ m e $0,10 \times 0,20$ m), as minicepas foram previamente monitoradas quanto à produtividade de miniestacas ao longo de um período de 12 meses. Com base nesse monitoramento, foram identificadas minicepas contrastantes quanto ao

desempenho produtivo, sendo classificadas como Alta_prod. as dez minicepas com maior produtividade e como Baixa_prod. as dez com menor produtividade. A partir dessa classificação, no espaçamento de $0,10 \times 0,10$ m, realizaram-se cinco coletas sucessivas, com intervalo de 15 dias, com o objetivo de avaliar a produtividade média por coleta e o enraizamento médio dos dois grupos de minicepas.

Nesse contexto, observa-se que as minicepas classificadas como Alta_prod. mantiveram maior produtividade média de miniestacas ao longo das cinco coletas sucessivas, alcançando $2,20 \pm 0,45$ miniestacas·minicepa⁻¹, enquanto as minicepas do grupo Baixa_prod. registraram produtividade média de $1,52 \pm 0,50$ miniestacas·minicepa⁻¹. Além do desempenho produtivo superior, as miniestacas oriundas das minicepas de Alta_prod. evidenciaram maior enraizamento médio ($77,2 \pm 7,9\%$) em comparação às provenientes do grupo Baixa_prod. ($67,5 \pm 12,2\%$). Adicionalmente, verifica-se maior variabilidade entre coletas no grupo de menor produtividade, conforme ilustrado na (Figura 35).

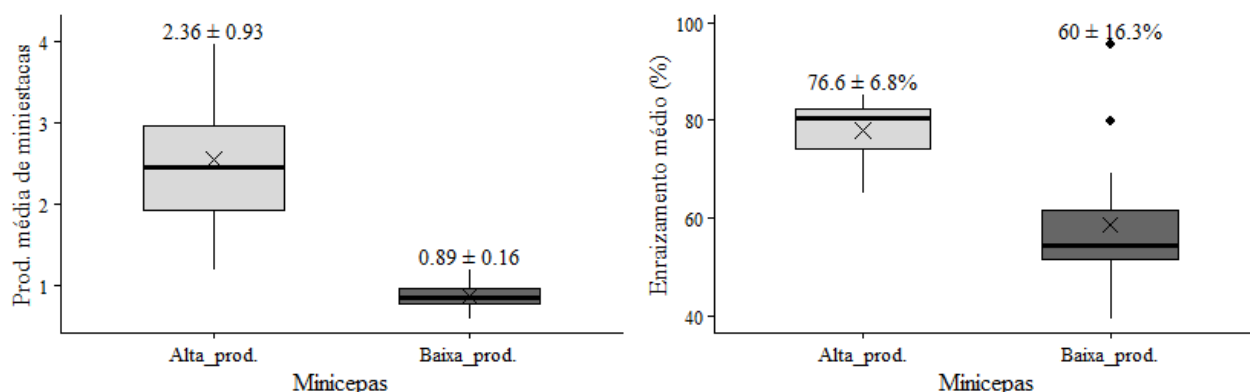


Fonte: autor, 2026.

Figura 35 Produtividade média por coleta (A) e enraizamento médio por coleta (B) de minicepas classificadas como Alta_prod. e Baixa_prod. Os boxplots representam a distribuição das médias das cinco coletas sucessivas (C1–C5). O símbolo “x” indica a média aritmética e os valores apresentados correspondem à média \pm desvio-padrão entre coletas. A análise estatística foi realizada por meio de modelos lineares generalizados mistos (GLMM). UFSCar, Campus de Sorocaba, 2026.

No espaçamento de $0,10 \times 0,20$ m, as minicepas classificadas como Alta_prod. mantiveram produtividade média de miniestacas consistentemente superior à observada no grupo Baixa_prod. ao longo das cinco coletas sucessivas (Figura 36). Além do maior volume de produção, o grupo Alta_prod. também evidenciou maiores taxas médias de

enraizamento em comparação ao grupo *Baixa_prod.*, indicando desempenho propagativo superior mesmo sob condições de cultivo semelhantes no minijardim clonal.



Fonte: autor, 2026

Figura 36 Produtividade média e enraizamento médio de miniestacas provenientes de minicepas de alta (*Alta_prod.*) e baixa (*Baixa_prod.*) produtividade em minijardim clonal no espaçamento 0,10 × 0,20 m, com base em cinco coletas sucessivas (intervalo de 15 dias). Os dados são apresentados por boxplots, com indicação da mediana, quartis e média (×), sendo os valores expressos como média ± desvio-padrão. A inferência estatística foi realizada por modelos lineares generalizados mistos (GLMM), assumindo distribuição Poisson para a produtividade e binomial para o enraizamento. UFSCar, *Campus* de Sorocaba, 2026.

Embora variações entre coletas tenham ocorrido em ambos os grupos, verifica-se que as minicepas de *Alta_prod.* sustentaram valores médios mais elevados de produtividade e enraizamento em todas as coletas avaliadas, o que reforça a consistência do desempenho desse grupo ao longo do período experimental.

Esse desempenho superior das minicepas de *Alta_prod.*, observado mesmo sob condições ambientais, nutricionais e de manejo semelhantes no minijardim clonal, indica a existência de variação intrínseca entre minicepas quanto à capacidade de produção e ao potencial de enraizamento de miniestacas. Tal comportamento pode estar associado a diferenças fisiológicas, incluindo maior vigor vegetativo, maior acúmulo de reservas de carboidratos, atividade meristemática mais intensa e maior competência rizogênica, fatores amplamente reconhecidos como determinantes do sucesso da propagação vegetativa em sistemas de minijardim clonal (Pimentel, 2020). Um dos achados mais relevantes deste estudo foi a associação positiva entre produtividade de miniestacas e maior taxa média de enraizamento. As minicepas classificadas como *Alta_prod* não apenas produziram maior número de brotações, mas também originaram miniestacas com maior competência rizogênica.

Segundo Hartmann et al. (2011), o teor de carboidratos solúveis nas miniestacas está diretamente relacionado à formação de primórdios radiculares. Estudos conduzidos por Wendling (2007) demonstraram que miniestacas oriundas de minicepas com maior vigor tem maior uniformidade e maior porcentagem de enraizamento de miniestacas. De maneira semelhante, Pimentel (2020) verificou correlação positiva entre vigor vegetativo e desempenho rizogênico em espécie florestal propagadas por miniestaquia. Esses resultados indicam que o vigor fisiológico da minicepa atua como fator determinante tanto na produtividade quanto na qualidade propagativa, reforçando a importância da avaliação individual das matrizes em sistemas clonais.

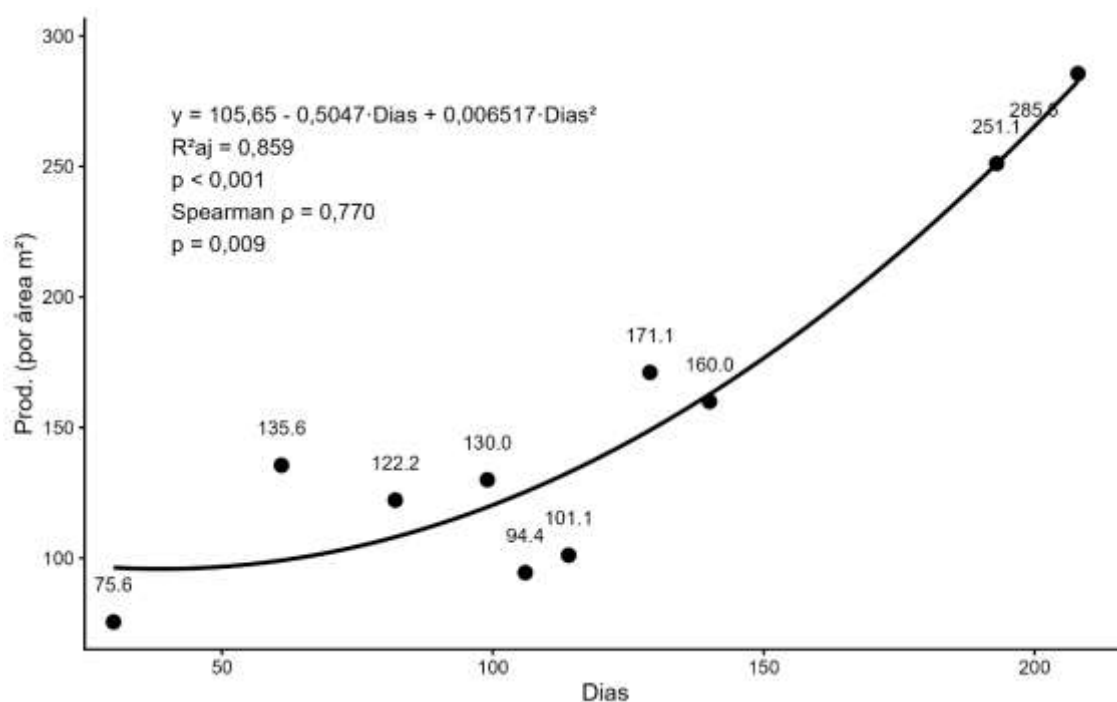
A constatação de variação produtiva consistente ao longo das coletas sucessivas indica que a classificação das minicepas em grupos contrastantes representa ferramenta prática para o manejo do minijardim clonal. A manutenção preferencial de indivíduos com maior produtividade e maior competência rizogênica pode elevar a eficiência operacional e reduzir custos de produção.

Nesse contexto, o estabelecimento de minijardins clonais a partir de indivíduos previamente selecionados configura uma estratégia eficiente e segura para a propagação de espécies geneticamente heterogêneas, uma vez que possibilita a multiplicação de genótipos com características desejáveis, como crescimento vigoroso, adequado porte do fuste e elevadas porcentagens de enraizamento (Mantovani et al., 2017). Assim, a avaliação da produtividade das minicepas constitui um dos critérios centrais para a seleção de indivíduos com desempenho superior em produção, os quais podem ser posteriormente encaminhados para as etapas iniciais do processo de melhoramento da espécie, visando à produção de mudas em larga escala (Pimentel, 2020). Neste estudo com a espécie *T. micranthum*, evidenciou-se a existência de diferenças de produtividade entre minicepas, bem como variações nas taxas de enraizamento de miniestacas. Dessa forma, para aumentar a eficiência do minijardim clonal, torna-se necessária a seleção de minicepas pertencentes ao grupo de maior produtividade.

4.4 Produtividade de minicepas e enraizamento de miniestacas de segunda geração de *Trema micranthum* (L.) Blume em minijardim clonal

4.4.1 Comportamento da espécie sob cultivo em minijardim clonal

A produtividade de miniestacas por área variou em função do tempo (dias) das minicepas no minijardim clonal, evidenciando padrão de resposta não linear ao longo das dez coletas sucessivas. Verifica-se que, apenas após aproximadamente 150 dias de condução das minicepas no sistema, a produtividade por área atinge valores entre 285 e 300 miniestacas como podemos observar no gráfico (Figura 37).



Fonte: autor, 2026

Figura 37 Produtividade de miniestacas por área (Prod. por área m²) em função do tempo em dias das minicepas conduzidas em minijardim clonal. Os pontos representam os valores observados por coleta e a linha contínua corresponde ao modelo de regressão polinomial de segundo grau ajustado. A equação do modelo, o coeficiente de determinação ajustado (R²aj), o p-valor do teste F global e o coeficiente de correlação de Spearman (ρ), com seu respectivo p-valor. UFSCar, 2026.

A partir desse período, verifica-se incremento expressivo na produção de miniestacas de *T. micranthum*, evidenciado pelo aumento da produtividade individual das minicepas. Após aproximadamente 200 dias de condução, as minicepas atingem

produtividade média por coleta de 2,85 miniestacas por planta, valor próximo a três miniestacas por minicepa.

A implantação do minijardim clonal com minicepas de *T. micranthum* oriundas de propagação vegetativa constituiu um diferencial deste estudo, uma vez que foram utilizadas mudas previamente enraizadas no Viveiro da UFSCar, Campus Sorocaba. A utilização de mudas jovens favoreceu a rápida adaptação das minicepas ao sistema de cultivo, possibilitando o início da produção de miniestacas já aos 30 dias após o plantio. Esse desempenho provavelmente está associado à padronização da altura e da idade das minicepas, o que contribuiu para maior uniformidade fisiológica do material vegetal.

O ajuste dos modelos de regressão indicou que o modelo polinomial de segundo grau descreveu de forma mais adequada a relação entre a produtividade por área e a idade das minicepas de *T. micranthum*, conforme critério de informação de Akaike. O modelo quadrático teve elevado coeficiente de determinação ajustado ($R^2_{aj} = 0,859$) e significância estatística no teste F global ($p < 0,001$), indicando bom ajuste aos dados observados. A equação estimada foi:

Equação (x).

$$\text{Prod. (por área m}^2\text{)} = 105,65 - 0,5047 \cdot \text{Dias} + 0,006517 \cdot \text{Dias}^2$$

Esse comportamento indica que, embora ocorra uma fase inicial de menor produtividade, verifica-se aumento consistente da produção de miniestacas por área com o avanço do tempo em dias das minicepas no sistema de minijardim clonal, especialmente após 150 dias de condução. Destaca-se ainda que o tempo das minicepas, associada aos manejos silviculturais adotados, forneceu parâmetros adequados para a avaliação da produtividade de miniestacas em função do tempo em dias de plantio das minicepas.

A associação entre o tempo em dias das minicepas e a produtividade por área foi corroborada pela correlação de Spearman, a qual evidenciou correlação positiva forte ($\rho = 0,770$; $p = 0,009$), indicando que o aumento do tempo em dias está associado a incrementos na produtividade, independentemente da forma funcional da relação. Esse resultado reforça a tendência observada no ajuste do modelo de regressão, confirmando a consistência do padrão de resposta ao longo do tempo.

De modo geral, os resultados indicam que o tempo em dias das minicepas no minijardim influencia significativamente a produtividade de miniestacas por área, com resposta crescente e não linear. Esse comportamento ressalta a importância do adequado

desenvolvimento das minicepas e da adoção de tratamentos silviculturais até a consolidação do sistema produtivo.

Minijardins clonais implantados com minicepas oriundas de propagação vegetativa tendem a evidenciar melhor adaptação ao sistema de cultivo, em função da maior uniformidade fisiológica e do elevado grau de juvenilidade do material propagativo. Como consequência, observa-se, em muitos casos, menor mortalidade das minicepas ao longo de coletas sucessivas, favorecendo a manutenção da capacidade produtiva e a estabilidade operacional do minijardim ao longo do tempo (Dias, 2011; Rocha et al., 2015). Neste estudo de condução de minicepas de *T. micranthum* em minijardim clonal, após dez coletas sucessivas, verificou-se a porcentagem de 97,7% de sobrevivência das minicepas, evidenciando a adaptação da espécie ao sistema de minijardim clonal. A utilização de minicepas com aproximadamente 80 dias após a propagação e altura entre 10 e 12 cm mostrou-se essencial para a rápida adaptação ao sistema, permitindo o início da produção de miniestacas em curto período de tempo.

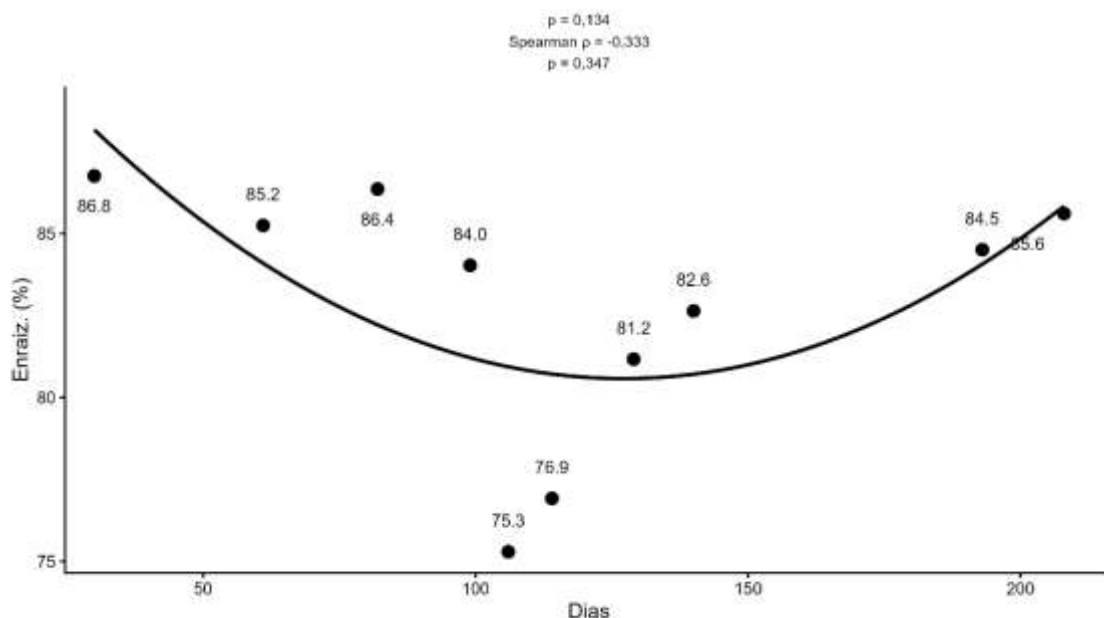
A produtividade de miniestacas em minijardins clonais sofre forte influência de condições ambientais, especialmente luz e sazonalidade, com reflexos diretos na emissão de brotos e no rendimento final de propágulos, conforme demonstrado para *Eucalyptus* por (Vilasboa; Da Costa; Fett-neto, 2022). Observa-se que as minicepas tendem a aumentar gradativamente a emissão de brotos com o avanço do tempo em dias no minijardim clonal e com a consolidação do formato em taça, o que pode estar relacionado ao processo de estabelecimento e adaptação ao sistema de cultivo. Esse comportamento possivelmente decorre do ajuste fisiológico às condições ambientais e ao manejo nutricional adotado (Wendling; Xavier, 2005). Entretanto, estudos conduzidos com outras espécies florestais indicam que, após determinado período de condução em minijardim clonal, pode ocorrer redução gradual na produtividade de miniestacas. Stuepp et al. (2017), ao conduzirem minicepas de *Piptocarpha angustifolia* Dusén ex Malme em sistema semi-hidropônico durante dois anos, verificaram que a produtividade de miniestacas foi superior no primeiro ano de coletas em comparação ao segundo ano. Esse resultado evidencia tendência de redução produtiva ao longo do tempo, indicando que o avanço do tempo em dias das minicepas no sistema pode estar associado à diminuição gradual do potencial de produção do minijardim clonal.

Registros na literatura indicam que espécies florestais exóticas, especialmente do gênero *Eucalyptus*, frequentemente ajustam sua produção de miniestacas poucos dias após a implantação do minijardim clonal, demonstrando elevada plasticidade e resposta

rápida às condições de manejo. Cunha; Wendling; Souza Júnior, (2005), ao trabalharem com *Eucalyptus benthamii*, constataram produtividade média de 8,1 miniestacas por minicepa mês. De forma semelhante, Titon et al., (2003) observaram valor médio de 9,7 miniestacas por minicepa para quatro clones de *Eucalyptus* spp., ao longo de oito coletas sucessivas realizadas.

O estudo de Carvalho et al., (2021) avaliou a produtividade de *Plathyenia reticulata* Benth. em minijardim clonal ao longo de 270 dias, com coletas mensais de miniestacas. Verificou-se variação da produtividade ao longo do período do estudo; entretanto, após aproximadamente 150 dias de condução, as minicepas mantiveram valores médios mensais de 4,32 miniestacas por planta. De forma semelhante, com a realização de dez coletas sucessivas em intervalos fixos, as minicepas de *T. micranthum* adaptaram-se ao sistema de minijardim clonal e, após aproximadamente 150 dias de condução, a produtividade passou a evidenciar comportamento linear crescente na produção de brotos (miniestacas).

Já a porcentagem de enraizamento das miniestacas de *Trema micranthum* observada ao longo das dez coletas sucessivas manteve valores semelhantes entre si, todos superiores a 75% das miniestacas coletadas e levadas a casa de vegetação (Figura 38). Esses elevados percentuais de enraizamento podem ser atribuídos à juvenilidade das minicepas de *T. micranthum*, as quais foram implantadas em junho de 2025.



Fonte: autor, 2026

Figura 38 Enraizamento (%) de miniestacas de *T. micranthum* em função do tempo em dias das minicepas. Os valores observados mantiveram-se elevados ao longo das coletas,

sem efeito significativo da idade sobre a porcentagem de enraizamento ($p = 0,134$) e sem correlação significativa entre as variáveis (Spearman $\rho = -0,333$; $p = 0,347$). UFSCar, 2026.

A correlação de Spearman entre o tempo de plantio das minicepas e a porcentagem de enraizamento foi negativa e não significativa ($\rho = -0,333$; $p = 0,347$), indicando ausência de associação consistente entre essas variáveis nas condições do estudo. Este resultado pode ser atribuído a juvenilidade das minicepas e ao número amostral de coletas ($n=10$) avaliações de enraizamento, pois os valores se mantiveram próximos, e o número de coletas não foi suficiente para expressar diferenças significativas entre o tempo em dias de plantio das minicepas e porcentagem de enraizamento de miniestacas. No início dos estudos com a espécie *T. micranthum*, utilizando minicepas de origem seminal, a avaliação do enraizamento foi realizada aos quarenta dias após o estaqueamento das miniestacas. No presente estudo, com minicepas de segunda geração, a avaliação pôde ser conduzida aos trinta dias após o estaqueamento, inclusive durante períodos de menor temperatura na região de estudo. Além de evidenciar maior eficiência do material propagativo, esse resultado reduziu o tempo de permanência das miniestacas na casa de vegetação, tornando o processo produtivo mais ágil.

Estudos com espécies florestais nativas em propagação vegetativa por miniestaquia evidenciam que a origem das minicepas influencia diretamente o desempenho das miniestacas em sistemas de minijardim clonal. A propagação *Cordia trichotoma* (Vell.) Arráb. ex Steud. em minijardim clonal com dois tipos de minicepas de origem seminal e assexuada, foi possível observar que as miniestacas originadas de minicepas clonadas (assexuadas) tiveram maiores porcentagens de enraizamento e sobrevivência dentro e fora da casa de vegetação durante a realização do estudo (Kielse et al., 2015). O estudo com propagação vegetativa e melhoramento de *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil. com minicepas de origem assexuada tiveram o melhor desempenho no minijardim clonal e conseqüentemente, maior porcentagem de enraizamento de suas miniestacas ao longo de todo o estudo (Wendling, et al., 2020). Nesse contexto o minijardim de *T. micranthum*, com minicepas clonadas registrou desde a primeira coleta de miniestacas porcentagens de enraizamento superiores a 75 % ao longo de dez coletas sucessivas, esses valores mantiveram-se próximos entre as dez coletas. A utilização de minijardim clonal, aplicado a espécies florestais nativas de interesse ecológico ou econômico, constitui uma oportunidade para a produção de mudas em larga escala para

atender os interesses econômicos e silviculturais desta nova era de restauração ecológica de grande demandas por mudas (Gonçalves et al., 2021).

Wendling et al. (2003) investigaram a técnica de rejuvenescimento por miniestaquia seriada em espécies de *Eucalyptus*, verificando-se ganho expressivo no enraizamento de miniestacas, resultado atribuído à maior juvenilidade do material propagado. De forma semelhante, ao analisar as porcentagens de enraizamento de miniestacas de *T. micranthum* no primeiro estudo conduzido com minicepas provenientes de sementes, observam-se valores variando entre 50 e 75% ao longo do período de 2023 a 2025. Por outro lado, quando rejuvenescemos o minijardim clonal com minicepas jovens e com idade fisiológica padronizada, verificamos incremento significativo na porcentagem de enraizamento entre as coletas, indicando efeito positivo da juvenilidade e da uniformidade ontogenética sobre a competência rizogênica das miniestacas. Resultados semelhantes foram descritos para *Ilex paraguariensis*, nos quais se constatou aumento significativo na produção e no enraizamento de miniestacas quando as minicepas se encontravam em estágios juvenis ou após processos de rejuvenescimento, evidenciando que o sucesso do enraizamento está diretamente associado à idade fisiológica e às condições nutricionais das minicepas (Quadros, 2013; Pimentel, 2020).

Nesse contexto, a utilização de material juvenil não apenas favorece o enraizamento, mas também contribui para a eficiência operacional dos sistemas de propagação clonal. Rabaiolli (2019) destaca que mudas originadas de material clonal propagado de espécies nativas a partir de tecidos juvenis evidenciam desempenho em campo equivalente ao de mudas de origem seminal, com a vantagem adicional de possibilitar produção contínua ao longo do ano por meio da miniestaquia. Dessa forma, o enraizamento de miniestacas florestais configura etapa determinante para a eficiência do processo de produção de mudas clonais. No presente estudo, o enraizamento de miniestacas de *T. micranthum* em minijardim clonal, estabelecido com minicepas oriundas de material propagativo e juvenil, resultou em porcentagens de enraizamento superior a 75% em todas as coletas realizadas, independentemente da sazonalidade. Neste estudo permanecemos coletando miniestacas no minijardim até o minijardim completar doze meses de condução.

5 Conclusão

O presente estudo demonstrou a viabilidade técnica da produção de mudas de *T. micranthum* por meio da propagação vegetativa em sistema de minijardim clonal semi-hidropônico. A espécie adaptou-se ao sistema de cultivo, mantendo baixa mortalidade de minicepas após sucessivas coletas de brotos. Verificou-se maior produtividade em minicepas jovens, indicando influência da juvenilidade na capacidade de brotação e das condições climáticas da região do estudo. Após aproximadamente 24 meses de condução, constatou-se redução da produtividade média, sugerindo efeito do envelhecimento fisiológico das minicepas.

Em relação ao enraizamento, as miniestacas tiveram percentuais superiores a 50% ao longo das coletas realizadas, independentemente da estação do ano. A capacidade de enraizamento manteve-se estável mesmo com o avanço da idade das minicepas, evidenciando manutenção da competência rizogênica do material propagativo.

Não foram verificadas diferenças significativas nas análises comparativas entre miniestacas de origem intermediária e apical. Entretanto, observa-se que miniestacas apicais evidenciam maior porcentagem de enraizamento em relação às intermediárias. Adicionalmente, mudas provenientes de segmentos intermediários apresentam cerca de 40% de ramificação, enquanto aquelas oriundas de segmentos apicais não registram ocorrência de ramificação, resultando na formação de mudas mais uniformes.

O espaçamento de $0,10 \times 0,10$ m mostrou-se eficiente na otimização do uso do espaço e dos recursos no minijardim clonal, configurando alternativa adequada para sistemas de produção intensiva. O espaçamento de $0,10 \times 0,10$ m resultou em menor produtividade individual por minicepa quando comparado ao espaçamento de $0,10 \times 0,20$ m ao longo de doze meses. Contudo, ao se analisar a produtividade mensal por área ocupada no minijardim, não se verificou diferença estatisticamente significativa entre os espaçamentos.

A formação de minijardim clonal a partir de minicepas de segunda geração permitiu a padronização das minicepas de *T. micranthum*. Verificou-se que, com o avanço do tempo após a implantação do minijardim, houve incremento na produtividade de miniestacas, evidenciando a rápida adaptação da espécie ao sistema de minijardim clonal. Adicionalmente, a juvenilidade das minicepas pode ter influenciado positivamente o desempenho do enraizamento de miniestacas, sendo observadas porcentagens superiores a 75,5% em todas as coletas realizadas. Para uma compreensão mais robusta da dinâmica

produtiva de minicepas de segunda geração, recomenda-se que a coleta de dados seja conduzida por um período mínimo de 12 meses, a fim de possibilitar a verificação da estabilização das curvas de produtividade e enraizamento ao longo do tempo.

6 Referências Bibliográficas

ALFENAS, A. C., ZAUZA, E. A. V., MAFIA, R. G., & ASSIS, T. F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2a. Edição. (Editora UFV: Viçosa, MG, Brazil). (2009).

ARGIBAY, J. D. Avaliação da eficiência de extração de canabinoides em *Trema Micranthum* (L.) Blume. 2025. **Tese de Doutorado**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/28297> .

ASSIS, T. F.; NETO, A. G.; ALFENAS, A. C. Current techniques and prospects for the clonal propagation of hardwoods with emphasis on Eucalyptus. **Plantation forest biotechnology for the 21st century**, p. 303-333, 2009.

ASSIS, T. F.; TEIXEIRA, S. L. **Enraizamento de estacas e controle genético da rizogênese em espécies florestais**. IPEF, 1998.

BECK, H. E., ZIMMERMANN, N. E., MCVICAR, T. R., VERGOPOLAN, N., BERG, A., & WOOD, E. F. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific data**, v. 5, n. 1, p. 180214, 2018.

BENIN, C. C.; BANDEIRA P., F. S.; DE OLIVEIRA GARCIA, F. A. Enraizamento de miniestacas apicais, intermediárias e basais em clones de *Eucalyptus benthamii*. **Floresta**, v. 43, n. 3, 2013. <https://doi.org/10.5380/ufv.br.v43i3.28542>

BORELLI, K., ROCHA, J. H. T., SILVA, M. R. D., SCALOPPI, E. J., GONÇALVES, A. N., & TECCHIO, M. A. Rubber tree mini clonal garden: Electric conductivity of the nutritional solution in the production of propagules. **Revista Árvore**, v. 48, p. e4811, 2024.

BORGES, S. R., XAVIER, A., OLIVEIRA, L. S. D., MELO, L. A. D., & ROSADO, A. M. Enraizamento de miniestacas de clones híbridos de *Eucalyptus globulus*. **Revista Árvore**, v. 35, p. 425-434, 2011. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000300006>

BOTIN, A. A.; CARVALHO, A. Reguladores de crescimento na produção de mudas florestais. **Revista de Ciências Agroambientais**, v. 13, n. 1, p. 83-96, 2015.

CAMPOS, A. S.; LIENARD, R. B. D.; TRAZZI, P. A.; SAVIAN, L. G.; LOPES, L. M. Propagação vegetativa de espécies florestais: uma abordagem bibliométrica. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, São José dos Pinhais, v. 17, n. 7, p. 1–28, 2024. DOI: <https://doi.org/10.55905/revconv.17n.7-391>.

CARVALHO, A., NEVES, A. H. B., & TRONCO, K. M. D. Q. Propagação vegetativa de espécies florestais da amazônia/vegetative propagation of amazonian forest species. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 83417-83430, 2020.

- CARVALHO, D. Influência do manejo do minijardim na produção de mudas clonais de teca (*Tectona grandis* Linn F.) e otimização do tempo de enraizamento. **Dissertação** de mestrado em Ciências Florestais. Universidade Federal de Viçosa. 2023.
- CARVALHO, G. C. M. W. D., PESSANHA, D. S., SILVA, R. D. D. D., SILVA, M. K. F. D., & BARROSO, D. G. Mini-cutting of *Plathymenia reticulata* benth. with ministumps conducted in suspended seedbed and tubes. **Cerne**, v. 27, p. e-102584, 2021. <https://doi.org/10.1590/01047760202127012584>
- CARVALHO, M.A. Produção de mudas clonais de *Tectona grandis* (Linn f.) em diferentes sistemas de minijardim. 2019. 103p. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais) - Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2019.
- CARVALHO, P. E. S. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003.
- CASTRO, W. H. Propagação vegetativa do jequitibá-rosa (*Cariniana estrellensis* (Raddi) Kuntze) e do pau-jacaré (*Piptadenia gonoacantha* (Mart.) Macbr.) por estaquia. 2011. **Dissertação** (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011.
- CUNHA, A. C. M. C. M. D., PAIVA, H. N. D., LEITE, H. G., BARROS, N. F. D., & LEITE, F. P. Relações entre variáveis climáticas com produção e enraizamento de miniestacas de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 33, n. 2, p. 195-203, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622009000200001>
- CUNHA, A. C. M. C. M. D., WENDLING, I., & SOUZA, L. Produtividade e sobrevivência de minicepas de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage em sistema de hidroponia e em tubete. **Ciência Florestal**, v. 15, n. 3, p. 307-310, 2005.
- DA LUZ, S. C., DE ALCANTARA, G. B., RIBAS, L. L. F., DAS ALMAS, D., KOEHLER, H. S., & ZUFFELLATO-RIBAS, K. C. Mini-cutting protocol and anatomical basis of adventitious rooting in *Ocotea odorifera*. **Scientific Reports**, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-30134-x>
- DIAS, P. C. Propagação vegetativa de angico-vermelho (*Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan) por estaquia e miniestaquia. **Dissertação** de Mestrado em Ciências Florestais. Universidade Federal de Viçosa, 2011.
- DIAS, P. C., DE OLIVEIRA, L. S., XAVIER, A., & WENDLING, I. Estaquia e miniestaquia de espécies florestais lenhosas do Brasil. **Pesquisa florestal brasileira**, v. 32, n. 72, p. 453, 2012.
- EMER, A. A., AVRELLA, E. D., FIOR, C. S., & SCHAFER, G. Nitrogen fertilization for ministrains of *Campomanesia aurea* O. Berg and its influence on productivity and rooting of minicuttings at different seasons of the year. **Agrária-Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 2, p. 1-8, 2019. <https://doi.org/10.5039/agraria.v14i2a5632>
- FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J. C. Propagação de plantas frutíferas. Brasília, DF: **Embrapa Informação Tecnológica**; Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2005. 221 p.

FERNANDES, S. J. D. O., SANTANA, R. C., SILVA, E. D. B., SOUZA, C. M. P. D., & SILVA, C. T. D. Período de enraizamento de miniestacas de eucalipto provenientes de diferentes lâminas de irrigação em minijardim. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 2, p. 591-600, 2018. <https://doi.org/10.5902/1980509832045>

FERRIAN, R. A. Produção de miniestacas e enraizamento de *Cedrela fissilis* em minijardim clonal. 2006. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

FERRIANI, A. P., ZUFFELLATO-RIBAS, K. C., & WENDLING, I. Miniestaquia aplicada a espécies florestais. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 4, n. 2, p. 102-109, 2010. <https://doi.org/10.18227/1982-8470ragro.v4i2.363>

FREITAS, A. F. D. Produtividade de minicepas e enraizamento de miniestacas de híbridos de *Eucalyptus globulus* Labill. em resposta a N, B e Zn. **Dissertação** de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal. Universidade Federal de Viçosa, 2017.

FREITAS, T. A. S.; PIMENTA, D. A. L.; MENDONÇA, A. V. R. Enraizamento de miniestacas de *Enterolobium contortisiliquum* em garrafas PET. **Revista Agrogeoambiental**, v. 9, n. 3, 2017. <https://doi.org/10.18406/2316-1817v9n32017968>

FREITAS, T. P. DE, 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**, **26(1)**, 313–320. 2016. <https://doi.org/10.5902/1980509821128>

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, n. 6, p. 655-664, 2002. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622002000600002>

GOMES, M. J. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*, Produzidas em diferentes tamanhos de tubete e de dosagem de N-P-K. **Tese**—viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa., 2002.

GOMES, S. H. M., GONÇALVES, F. B., FERREIRA, R. A., PEREIRA, F. R. M., & DE JESUS RIBEIRO, M. M. (Avaliação dos parâmetros morfológicos da qualidade de mudas de *Paubrasilia echinata* (pau-brasil) em viveiro florestal. **Scientia Plena**, v. 15, n. 1, 2019. <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2019.011701>

GONÇALVES, E. D. O., CALDEIRA, M. V. W., ARAÚJO, E. F., SANT'ANA, B. T., RAMALHO, A. S., GIBSON, E. L., & REZENDE, G. P. Propagação assexuada em espécies arbóreas da floresta atlântica. In: **Sistemas integrados de produção: pesquisa e desenvolvimento de tecnologias**. Editora Científica Digital, 2021. p. 127-144.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES JUNIOR, F. T.; GENEVE, R. L. **Plant propagation: principles and practices**. 7. ed. New Jersey: Prentice Hall, 2011.

HERNANDEZ, W., XAVIER, A., PAIVA, H. N. D., & WENDLING, I. Propagação vegetativa do jequitibá-rosa (*Cariniana estrellensis* (Raddi) Kuntze) por estaquia.

Revista Árvore, v. 37, p. 955-967, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000500018>

HIGASHI, E.N.; SILVEIRA, R.L.A. Fertirrigação em viveiros de mudas de Eucalyptus e Pinus. In: **Fertirrigação: teoria e prática**. BOARETTO, A.E.; VILLAS BOAS, R.L.; SOUZA, W.F. PARRA, L.R.V. (Eds.) 1ed. Piracicaba, v.1, p.677-725, 2004.

HUSEN, A. P., Mohinder. Varin shoot anatomy and rooting behaviour of stem cuttings in relation to age of donor plants in teak (*Tectona grandis* Linn. f.). **New Forests**, v. 31, n. 1, p. 57-73, 2006.

KIELSE, P., BISOGNIN, D. A., HAYGERT, K. L., MELLO, U. S., PIMENTEL, N., & RAUBE, M. A. Production and rooting of *cordia-Cordia trichotoma* (Vell.) Arrab. ex Steud. mini-cuttings collected from ministumps of asexual and seminal origin. **Ciência Rural**, v. 45, n. 7, p. 1164–1166, 15 maio 2015. <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20131011>

LATOH, L. P. Aspectos morfofisiológicos e potencial rizogênico na propagação vegetativa por miniestaquia de espécies florestais. 2019. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

LIMA, D. M. Propagação vegetativa de espinheira-santa (*Maytenus ilicifolia* Mart. ex Reissek). 2008. 182 f. **Tese** (Doutorado em Agronomia) – Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2005.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 5. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002.

LUBKE, L. *Trema micrantha* (L.) Blume: fenologia reprodutiva, germinação e citogenética em área de restauração florestal no sudoeste do Paraná. 2016. 57 f. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia Florestal) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Dois Vizinhos, 2016.

LUBKE, L., CORRÊA, B. J. S., & FILIPPI, M. Fenofases vegetativas e reprodutivas de *Trema micrantha* (L.) Blume no sudoeste do estado do Paraná. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 2, p. 863-879, 2021. <https://doi.org/10.5902/1980509831766>

MANTOVANI, N., ROVEDA, M., TRES, L., FORTES, F. D. O., & GRANDO, M. F. Cultivo de canafístula (*Peltophorum dubium*) em minijardim clonal e propagação por miniestacas. **Ciência Florestal**, v. 27, p. 225-236, 2017. <https://doi.org/10.5902/1980509826461>

MARANHO, Á. S., Paiva, A. V. D., & Paula, S. R. P. D. Crescimento inicial de espécies nativas com potencial madeireiro na Amazônia, Brasil. **Revista Árvore**, v. 37, p. 913-921, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622013000500014>

- MELO, A. C.; DURIGAN, G. Dinâmica da regeneração natural em um fragmento de floresta estacional semidecidual, SP. **Revista Cerne**, v. 12, n. 1, p. 53–64, 2006.
- NIÓN, M., ROSS, S., GONZÁLEZ-TÁLICE, J., TORRES, L., BOTTARRO, S., SOTELO-SILVEIRA, M., ... & FETT-NETO, A. G. Rooting Ability of *Eucalyptus dunnii* Maiden Mini-Cuttings Is Conditioned by Stock Plant Nighttime Temperature. **Plants**, v. 15, n. 2, p. 335, 2026. <https://doi.org/10.3390/plants15020335>
- OLIVEIRA, L. S., XAVIER, A., DIAS, P. C., CORREIA, A. C. G., BORGES, S. R., TAKAHASHI, E. K., & DE PAIVA, H. N. Enraizamento de miniestacas e microestacas de clones de *Eucalyptus urophylla* x *E. globulus* e de *Eucalyptus grandis* x *E. globulus*. **Scientia Forestalis (Brazil)**, v. 40, n. 96, 2012.
- PACHECO, B. M. Caracterização do ciclo de produção de mudas de espécies florestais nativas do estado de Sergipe. TCC—São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2010.
- PEDERNEIRAS, L. C., COSTA, A. F. D., ARAUJO, D. S. D. D.; CARAUTA, J. P. P. Estudo florístico da família Cannabaceae no Brasil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 62, n. 3, p. 545–552, 2011. <https://doi.org/10.1590/2175-7860201162207>
- PEREIRA, M. D. O., NAVROSKI, M. C., ÂNGELO, A. C., SCHAFER, G., ANDRADE, R. S. D., MORAES, C., & SOUZA, G. D. Enraizamento de *Sequoia sempervirens* (Cupressaceae) em função do padrão de miniestacas, substratos e regulador de crescimento. **Ciência Florestal**, v. 31, n. 3, p. 1258-1277, 2021. <https://doi.org/10.5902/1980509836857>
- PIMENTA, D. A. L.; FREITAS, T. A. S.; MENDONÇA, A. V. R. Enraizamento de miniestacas de *Enterolobium contortisiliquum*. **Revista Agrogeoambiental**, 2017.
- PIMENTEL, N. Enraizamento de miniestacas e qualidade de mudas de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. 2020. **Tese** (Doutorado em Engenharia Florestal) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020.
- PIRES, P. P., WENDLING, I., DE SOUZA, A. M., & COELHO, A. S. G. Climatic oscillations in the production of *Eucalyptus benthamii* x *E. dunnii* shoots in mini-clonal hedge. **Bosque**, v. 38, n. 3, p. 487-493, 2017.
- PIRES, P., WENDLING, I., AUER, C., & BRONDANI, G. Sazonalidade e soluções nutritivas na miniestaquia de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze. **Revista Árvore**, v. 39, n. 2, p. 283-293, 2015. <https://doi.org/10.1590/0100-67622015000200008>
- QUADROS, K. M. Multiplicação *in vitro* e *ex vitro* de *Ilex paraguariensis* A. Saint Hilaire (erva-mate). 2013. **Tese** (Doutorado em Engenharia Florestal) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2013.
- R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2024. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 29 mar. 2026

- RABAIOLLI, Silvia Maria. Propagação clonal e miniestaquia de espécies florestais nativas. 2019. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal) — Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/16523>. Acesso em: 23 fev. 2026.
- RAMOS, G. G., ARRIEL, E. F., DE LIRA FREITAS, A., SOUSA, R. R., & NÓBREGA, A. M. F. Clonagem de *Myracrodruon urundeuva* Allemão pela técnica de miniestaquia. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 12, n. 4, p. 359-367, 2016.
- RIBAS, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. Conservação genética e diversidade em fragmentos florestais: o caso da Grandiúva (*Trema micrantha*). In: KAGEYAMA, Paulo Yoshio et al. (org.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, 2006. p. 209–222.
- RIBEIRO, G.S.; TEIXEIRA, L. S.; SILVA, M. O.; SOUZA, R. H.; COSTA, F. A.; OLIVEIRA, J.; SANTOS, C. M.; PEREIRA, B. L. ALMEIDA, T. F.; BARROS, E. N. *Trema micranthum* (L.) Blume as a new source of cannabinoids. **Scientific Reports**, v. 14, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-80857-6>
- ROCHA, J. H. T., BACKES, C., BORELLI, K., PRIETO, M. R., SANTOS, A. J. M., & GODINHO, T. D. O. Produtividade do minijardim e qualidade de miniestacas de um clone híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* (I-224) em função de doses de nitrogênio. **Ciência Florestal**, v. 25, p. 273-279, 2015. <https://doi.org/10.5902/1980509818411>
- ROSA, L. S. Produção e enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus dunnii* em minijardim clonal. 2006. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, 2006.
- SALES, A. Resgate e propagação vegetativa de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*. 2022. 154 f. **Tese** (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2022.
- SANT'ANA, B. T., BERUDE, M. C., FELETTI, T. A., CALDEIRA, M. V. W., & DE OLIVEIRA Gonçalves, E. Produtividade de minicepas e enraizamento de miniestacas de sapucaia (*Lecythis lanceolata*). **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 43, 2023. <https://doi.org/10.4336/2023.pfb.43e201901931>
- SANTOS, F. F. Ilhas de calor urbanas em Sorocaba/SP: uma abordagem com base no sistema das zonas climáticas locais. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2023.
- SCHULTZ, B., RABELO, P. R., BARROS, L. T. S., HIGA, A. R., AUER, C. G., PAULA RACHEL RABELO, P. G. U., & LIZY TANK SAMPAIO BARROS, G. U. Efeito do tipo de minijardim e da época de plantio sobre o desenvolvimento de estacas de *Pinus radiata*. 2010.
- SILVA, K. D., REINIGER, L. R. S., RABAIOLLI, S. D. S., STEFANEL, C. M., & ZIEGLER, A. D. F. Productivity of minicepas and rooting of minicuttings of *Luehea*

divaricata Mart. & Zucc. in the different seasons of the year. 2019. **Sci. For.**, Piracicaba, v. 47, n. 122, p. 294-302, jun. 2019. doi.org/10.18671/scifor. v47n122.12

SILVA, L. R., SILVA, C., DE SOUZA MELO, A. K., JACOME, T. V. L., & ARAUJO, P. C. D. Miniestaquia de espécies florestais nativas do Brasil. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 20, n. 2, p. 162-166, 2024. <https://doi.org/10.30969/5fp7qj75>

SOUZA, C. C., XAVIER, A., LEITE, F. P., SANTANA, R. C., & DE PAIVA, H. N. Densidade de minicepas em minijardim clonal na produção de mudas de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 34, n. 77, p. 49-56, 2014. <https://doi.org/10.4336/2014.pfb.34.77.512>

SOUZA, J. S. Produção de mudas e potencial econômico de *Eugenia involucrata* (Myrtaceae). 2024. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2024. Disponível em: https://www.udesc.br/arquivos/cav/id_cpmenu/4442/Disserta_o_Mestrado_JUCI_FI_NAL_1745417857698_4442.pdf. Acesso em: 29 mar. 2026.

SOUZA, M. P. Propagação vegetativa e restauração de áreas degradadas com espécies florestais nativas. **Dissertação** (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2022.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. Botânica Sistemática: Guia ilustrado para identificação das famílias de angiospermas da flora brasileira, baseado em APGII. Nova Odessa, São Paulo, Instituto Plantarum, 2.ed., 703p, 2008.

STOLARSKI, O. C., GORENSTEIN, M. R., LUBKE, M., LUBKE, L., CONNOR, P. H. P.; BECHARA, F. C. *Trema micrantha* (L.) Blume. in plantations for ecological restoration: early development in the Brazilian subtropical forest. **Ciência Florestal**, v. 28, p. 1217-1229, 2018. <https://doi.org/10.5902/1980509833351>

STUEPP, C. A., WENDLING, I., KOEHLER, H. S., & ZUFFELLATO-RIBAS, K. C. Successive mini-cuttings collection in *Piptocarpha angustifolia* mini-stumps: effects on maturation, adventitious root induction and root vigor. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 39, n. 2, p. 245-253, 2017. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v39i2.31059>

STUEPP, C. A., WENDLING, I., XAVIER, A., & ZUFFELLATO-RIBAS, K. C. Vegetative propagation and application of clonal forestry in Brazilian native tree species. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 53, p. 985-1002, 2018.

TAIZ, Lincoln et al. Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal - 6ed. [S.l.]: Artmed Editora, 2017.

TITON, M., XAVIER, A., OTONI, W. C., & REIS, G. G. D. Efeito do AIB no enraizamento de miniestacas e microestacas de clones de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden. **Revista Árvore**, v. 27, p. 1-7, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000100001>

TORRES, R. B. Biologia reprodutiva de *Trema micrantha* (L.) Blume – Ulmaceae. 1996. 163 f. **Dissertação** (Mestrado em Ciências Biológicas – Botânica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

VALVERDE, Y. B. Clonagem de *Tectona grandis* Linn F. por estaquia e miniestaquia. **Dissertação** de Mestrado em Ciência Florestal. Universidade Federal de Viçosa, 2014.

VIÉGAS, I. J. M. Qualidade de mudas florestais e índices morfológicos para avaliação em viveiro. 2015. **Dissertação** (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu 2015.

VILASBOA, J., DA COSTA, C. T., & FETT-NETO, A. G. Environmental modulation of mini-clonal gardens for cutting production and propagation of hard-and easy-to-root *Eucalyptus* spp. **Plants**, v. 11, n. 23, p. 3281, 2022.

<https://doi.org/10.3390/plants11233281>

WENDLING, I., & XAVIER, A. Influência da miniestaquia seriada no vigor radicular de clones de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 29, p. 681-689, 2005.

<https://doi.org/10.1590/S0100-67622005000500003>

WENDLING, I., SANTAROSA, E., PENTEADO JUNIOR, J., AUER, C. G., PENTEADO, S., DE QUEIROZ, D. L., & DOS SANTOS, A. F. **Manual de produção de mudas clonais de erva-mate**. 2020.

<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1123804>

WENDLING, I.; DUTRA, L. F.; GROSSI, F. **Produção de mudas clonais por estaquia e miniestaquia**. Colombo: Embrapa Florestas, 2017.

XAVIER, A., & DA SILVA, R. L. Evolução da silvicultura clonal de *Eucalyptus* no Brasil. **Agronomía Costarricense**, v. 34, n. 1, p. 93-98, 2010.

XAVIER, A., SANTOS, G. A. D., & OLIVEIRA, M. L. D. Enraizamento de miniestaca caulinar e foliar na propagação vegetativa de cedro-rosa (*Cedrela fissilis* Vell.). **Revista Árvore**, v. 27, n. 3, p. 351-356, 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622003000300011>

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. Viçosa, MG: Viçosa, MG: Ed. UFV, 2009.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. 2. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2013.

Anexo I

Contribuição Científica da Pesquisa

A presente pesquisa teve origem na necessidade de avaliar a viabilidade técnica, econômica e ambiental da produção de mudas de *Trema micranthum* (L.) Blume por meio da propagação vegetativa em sistema de minijardim clonal. Buscou-se compreender o potencial produtivo da espécie, identificar o tipo de miniestaca mais eficiente para formação de mudas, analisar a influência de fatores climáticos e ambientais sobre a produtividade e o enraizamento, bem como determinar a capacidade da espécie em suportar coletas sucessivas ao longo de um ciclo anual completo. O propósito central consistiu em viabilizar a produção em larga escala de mudas nativas para atender à crescente demanda silvicultural e de restauração ecológica.

Os resultados permitiram padronizar a solução nutritiva adequada ao cultivo semi-hidropônico da espécie em minijardim clonal, estabelecer a produtividade média de miniestacas em períodos de maior e menor temperatura ao longo do ano e definir as taxas médias de enraizamento associadas a esses períodos climáticos. Evidenciou-se que minicepas jovens tiveram maior potencial produtivo, enquanto a capacidade de enraizamento mantém-se elevada mesmo com o avanço da idade das minicepas. Após 24 meses de condução, verificou-se redução da produtividade média de miniestacas, porém sem comprometimento significativo da porcentagem de enraizamento. Esses resultados foram obtidos a partir de acompanhamento contínuo por mais de 27 meses, com monitoramento sistemático do comportamento fisiológico das minicepas, manejo silvicultural rigoroso, controle nutricional e hídrico, além de coletas sucessivas e análises estatísticas robustas que garantiram confiabilidade às inferências realizadas.

Do ponto de vista científico, o estudo demonstra a viabilidade e adaptação de uma espécie florestal nativa ao sistema de minijardim clonal semi-hidropônico, consolidando um modelo técnico aplicável ao planejamento da produção clonal de espécies nativas. A pesquisa evidencia que o planejamento da produção de mudas clonais deve considerar, prioritariamente, a influência de fatores climáticos e ambientais sobre a produtividade e o enraizamento, permitindo organizar calendários de coleta e manejo com base em períodos mais favoráveis. Além disso, demonstra que o tempo de permanência das minicepas no sistema pode ser definido estrategicamente conforme a demanda produtiva, uma vez que a redução da produtividade não implica, necessariamente, perda da capacidade de enraizamento de miniestacas.

Para a comunidade científica e o setor produtivo, o estudo oferece parâmetros inéditos de produtividade, enraizamento e manejo para *T. micranthum*, espécie com relevância ecológica, potencial medicinal e interesse econômico crescente. O espaçamento de 0,10 × 0,10 m mostrou-se eficiente na otimização do uso do espaço e dos recursos nutricionais no minijardim clonal, podendo servir como referência para investigações com outras espécies nativas. Adicionalmente, o trabalho reforça que o tipo de miniestaca influencia diretamente a qualidade final da muda e a porcentagem de enraizamento, ampliando a base técnica para programas de produção clonal em larga escala. Assim, a pesquisa contribui para o avanço do conhecimento sobre propagação vegetativa de espécies florestais nativas, fornece subsídios técnicos para viveiristas e planejadores florestais e eleva o nível de sistematização científica na produção clonal voltada à restauração ambiental e ao uso econômico sustentável de espécies nativas.