

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

Luciane Grendene Maculan

**SELEÇÃO DE CLONES E PRODUÇÃO DE MUDAS DE ERVA-MATE
POR MINIESTAQUIA**

Santa Maria, RS
2022

Luciane Grendene Maculan

**SELEÇÃO DE CLONES E PRODUÇÃO DE MUDAS DE ERVA-MATE POR
MINIESTAQUIA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Florestal**.

Orientador: Prof. Dilson Antônio Bisognin, PhD.

Santa Maria, RS
2022

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Maculan, Luciane Grendene
Seleção de Clones e Produção de Mudanças de Erva-mate por
Miniestaquia / Luciane Grendene Maculan.- 2022.
75 p.; 30 cm

Orientador: Dilson Antônio Bisognin
Coorientadores: Frederico Dimas Fleig, Thaíse da
Silva Tonetto
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Engenharia Florestal, RS, 2022

1. Ilex paraguariensis 2. Melhoramento genético 3.
Propagação vegetativa 4. Qualidade morfofisiológica 5.
Produção de mudas I. Bisognin, Dilson Antônio II. Dimas
Fleig, Frederico III. da Silva Tonetto, Thaíse IV. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.


Declaro, LUCIANE GRENDENE MACULAN, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

Luciane Grendene Maculan

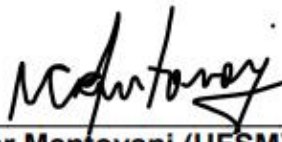
**SELEÇÃO DE CLONES E PRODUÇÃO DE MUDAS DE ERVA-MATE POR
MINIESTAQUIA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Florestal**.


Aprovado em 04 de março de 2022:

Documento assinado digitalmente
 Dilson Antonio Bisognin
Data: 11/03/2022 07:03:20-0300
Verifique em <https://verificador.itl.br>

Dilson Antônio Bisognin, PhD. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Dr. Nilton Cesar Mantovani (UFSM) - Videoconferência

Documento assinado digitalmente
 Kelen Haygert Lenciana
Data: 08/03/2022 19:41:55-0300
CPF: 011.476.600-26
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Dr. Kelen Haygert Lenciana (UFSC) - Videoconferência

Santa Maria, RS
2022

DEDICATÓRIA

À Leonardo e Luciano
Tagliapietra Esperidião (*In
memoriam*).

AGRADECIMENTOS

À Deus, por todas conquistas que trouxe para minha vida, por me dar forças para seguir em frente e por iluminar sempre os meus caminhos, mostrando que tudo é possível.

À minha família, minha mãe Ana Grendene Maculan, meu pai Valdemar Maculan, minhas irmãs Calusa Grendene Maculan e Luciana Grendene Maculan, por toda motivação e incentivo nesta caminhada.

Ao meu namorado, Luís Henrique Estery dos Santos, por toda paciência, compreensão, companhia e pelos conselhos diários durante todo o percurso. Agradeço a Deus por ter na minha vida.

Ao meu orientador Dilson Antônio Bisognin por ter me proporcionado a oportunidade de fazer parte deste grupo, por ter acreditado em mim e na minha capacidade.

Aos colegas do MPVP, Renata Smith Avinio, Luana da Silva Cadore, Kelen Haygert Lencina, Denise Gazzana, Gabriel Lopes, Jackson Librelotto, Fábio Rangel, Mariana Schopf, Janaína de Fátima Spanevello, Maria Eduarda Boemo, Nathália da Rosa, Elisane Kralik, Thayná Ferreira e Gerâne Wertonge. Em especial, Angélica Costa Malheiros, Gabriele Taís Lohmann e Thaíse da Silva Tonetto por todo auxílio nas instalações de experimento, coleta de dados, retirada de dúvidas e por toda companhia durante estes dois anos.

Aos meus velhos amigos, Debora Vestena, Sabrina Vestena, Luana Faccin, Marine Baptaglin Antonello e Jáime Cassol Stefanello, pela amizade verdadeira e momentos de descontração durante esta caminhada.

À banca examinadora Dr^a Kelen Haygert Lencina e Dr^o Nilton Cesar Mantovani pelas contribuições para a realização deste trabalho.

Ao CNPq, pelo apoio financeiro, e a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desta pesquisa.

MINHA ETERNA GRATIDÃO!

*“É preciso força pra sonhar e
perceber que a estrada vai
além do que se vê”.*

(Los Hermanos)

RESUMO

SELEÇÃO DE CLONES E PRODUÇÃO DE MUDAS DE ERVA-MATE POR MINIESTAQUIA

AUTORA: Luciane Grendene Maculan
ORIENTADOR: Dilson Antônio Bisognin

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* St.-Hil.) é uma espécie característica da região Sul do Brasil, apresentando grande importância econômica, social, ambiental e cultural nos locais de ocorrência. Apesar disso, ainda não estão disponíveis tecnologias e referências de propagação vegetativa a serem seguidas na silvicultura para o enraizamento adventício e a qualidade de muda de erva-mate. Dessa forma, o presente trabalho tem como objetivo selecionar clones de erva-mate com competência ao enraizamento adventício com alta produtividade de miniestacas e qualidade morfofisiológica das mudas produzidas por miniestaquia. Para o enraizamento, miniestacas com aproximadamente 2 cm de comprimento foram tratadas com solução hidroalcoólica de 2000 mg L⁻¹ de ácido indolbutírico e foram cultivadas em bandejas de polietileno com 100 alvéolos, contendo substrato comercial a base de casca de pinus, vermiculita média e areia de granulometria grossa (1:1:1 v/v/v). Após 60 dias de cultivo em câmara úmida, as miniestacas de diferentes clones de erva-mate foram avaliadas quanto a porcentagem de sobrevivência e enraizamento e, o número e comprimento das três maiores raízes. Foram também calculados o incremento corrente diário e incremento médio diário para determinar o tempo ótimo de permanência das miniestacas em ambiente de enraizamento. As miniestacas enraizadas foram transferidas para tubetes de 280 cm³ para avaliar a qualidade morfofisiológica das mudas produzidas. As mudas de erva-mate foram avaliadas após 180 dias de cultivo para porcentagem de sobrevivência, número de folhas, altura da parte aérea (cm), diâmetro do colo (mm) e a razão entre a altura da parte aérea e o diâmetro do colo (cm/mm). Os componentes da variância foram estimados com base em medidas repetidas pelo método da máxima verossimilhança restrita (REML) e a predição dos valores fenotípicos e genotípicos pela melhor predição linear não viciada (BLUP). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com número variável de unidades experimentais. O tempo ótimo de permanência das miniestacas em câmara úmida variou de 28 a 63 dias, conforme o clone. Foram observadas diferenças entre clones para porcentagem de enraizamento, número de raízes e número de folhas. Foram selecionados quatro clones de erva-mate que combinam enraizamento e qualidade de muda, resultando em ganhos de seleção para porcentagem de enraizamento (43,5%), número de raízes (15,8%) e número de folhas (15,1%). Os altos ganhos de seleção indicam o grande potencial desta estratégia de melhoramento genético para o desenvolvimento de clones de erva-mate para a propagação vegetativa por miniestaquia.

Palavras-chave: *Ilex paraguariensis*. Melhoramento genético. Propagação vegetativa. Qualidade morfofisiológica. Produção de mudas.

ABSTRACT

CLONE SELECTION AND PLANTLET PRODUCTION OF MATE BY MINI-CUTTINGS

AUTHOR: Luciane Grendene Maculan

ADVISOR: Dilson Antônio Bisognin

Mate (*Ilex paraguariensis* St.-Hil.) is a native species of southern Brazil, with great economic, social, environmental and cultural importance where it occurs. Even that, there are no available technologies of asexual propagation necessary for the production of high-quality plantlets. Thus, the present work aimed at developing new mate clones and selecting those that combine high productivity of mini-cuttings and morphophysiological quality of plantlets by mini-cuttings. For the production of mate plantlets, a clonal mini-garden was established in a closed soilless cultivation system with coarse sand as substrate and flood fertigation. For rooting, mini-cuttings with approximately 2 cm in length were treated with 2000 mg L⁻¹ of indolebutyric-acid and were cultivated in polyethylene trays with 100 wells, containing commercial substrate based on pine bark, medium vermiculite and coarse sand (1 :1:1 v/v/v). After 60 days of cultivation in a humidity chamber, mini-cuttings were evaluated for percentage of survival and rooting, and number and length of the three largest roots. The daily current increment and the average daily increment were also calculated to determine the optimal permanence time of the mini-cuttings in the rooting environment. The rooted mini-cuttings were transferred to 280 cm³ tubes, containing a mixture of a commercial substrate based on pine bark and subsurface soil (2:1 v/v) to assess the morphophysiological quality of the plantlets. Mate plantlets were evaluated after 180 days of cultivation for survival percentage, number of leaves, shoot height (cm), collar diameter (mm) and the ratio between shoot height and diameter (cm/mm). The variance components were estimated based on repeated measures by the restricted maximum likelihood method (REML) and the prediction of phenotypic and genotypic values by the best linear unbiased prediction (BLUP). The experiment was carried out in a complete random design, with different number of experimental units. The optimal time for the mini-cuttings to remain in a humid chamber ranged from 28 to 63 days, depending on the clone. Clonal differences were found for percentage of rooting, number of roots and number of leaves. Four mate clones that combine rooting competence and plantlet quality were selected, resulting in selection gains for rooting percentage (43.5%), number of roots (15.8%), and number of leaves (15.1%). High gains from selection indicate the feasibility of this genetic improvement strategy for the development of mate clones for asexual propagation by mini-cuttings.

Keywords: *Ilex paraguariensis*. Genetic improvement. Asexual propagation. Morphophysiological quality. Plantlet production.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1- Distribuição geográfica da erva-mate na América do Sul. 16
- Figura 2 - Árvore (A), casca (B), madeira (C), flores e folhas (D), frutos (E) e sementes (F) de erva-mate..... 18
- Figura 3 - Broto de erva-mate formado em minijardim clonal (A), seccionados em miniestacas de gema única com folha reduzida à metade de sua área original (B), cultivadas em bandejas de polietileno com 100 alvéolos e substrato comercial à base de casca de pinus, vermiculita média e areia de granulometria grossa (1:1:1 v/v/v) e mantidas em câmara úmida durante 60 dias para enraizamento (D). Barra = 2 cm.....33
- Figura 4 - Porcentagem de enraizamento de oito clones de erva-mate em função do tempo de permanência em câmara úmida. ICD: Incremento corrente diário. IMD: Incremento médio diário. AR: Porcentagem de enraizamento acumulado.....41
- Figura 5 - Número de raízes de oito clones de erva-mate em função do tempo de permanência em câmara úmida. ICD: Incremento corrente diário. IMD: Incremento médio diário. AR: Número de raízes acumulado.43
- Figura 6 - Comprimento de raízes (cm) de oito clones de erva-mate em função do tempo de permanência em câmara úmida. ICD: Incremento corrente diário. IMD: Incremento médio diário. AR: Comprimento de raízes acumulado. .45
- Figura 7 - Porcentagem de raízes secundárias de oito clones de erva-mate em função do tempo de permanência em câmara úmida. ICD: Incremento corrente diário. IMD: Incremento médio diário. AR: Porcentagem de raízes secundárias acumulado.....47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comprimento das raízes (C), área de superfície de raiz (A), diâmetro médio de raiz (D) e volume radicial (V) de 21 clones de erva-mate (<i>I. paraguariensis</i>), aos 60 dias de cultivo em câmara úmida.....	38
Tabela 2 - Correlação de Pearson para porcentagem de sobrevivência (SOB) e enraizamento (ENR), número de raízes (NR) e comprimento médios das três maiores raízes (C3MR), de cinquenta clones de erva-mate (<i>I. paraguariensis</i>), em quatro coletas consecutivas.....	50
Tabela 3 - Correlação de Pearson para porcentagem de sobrevivência (%SOB), altura da parte aérea (HPA), diâmetro do colo (DC), número de folhas (NF) e da relação com altura da parte aérea e diâmetro do colo (HPA/DC), de cinquenta clones de erva-mate (<i>I. paraguariensis</i>), em duas coletas consecutivas.....	54
Tabela 4 - Valores de deviance para os caracteres associados ao enraizamento adventício dos clones avaliados de erva-mate (<i>I. paraguariensis</i>).....	51
Tabela 5 - Componentes de variância e parâmetros genéticos para os caracteres associados ao enraizamento adventício que tiveram efeito significativo para os clones avaliados de erva-mate (<i>I. paraguariensis</i>).....	52
Tabela 6 - Valores de deviance para os caracteres associados à qualidade de muda dos clones avaliados de erva-mate (<i>I. paraguariensis</i>).....	56
Tabela 7 - Componentes de variância e parâmetros genéticos para os caracteres associados à qualidade de muda que tiveram efeito significativo para os clones avaliados de erva-mate (<i>I. paraguariensis</i>).....	56
Tabela 8 - Efeito fenotípico permanente (Fp), valor fenotípico permanente (u + Fp), ganho genético (GS), nova média (Nm) e o desempenho relativo em porcentagem (DR) estimado para porcentagem de enraizamento, número de raízes e número de folhas, para os 4 melhores clones de erva-mate (<i>I. paraguariensis</i>).....	59

LISTA DE APÊNDICES

- APÊNDICE A - Resumo da análise de variância para comprimento de raízes (cm) de miniestacas, em 21 clones de erva-mate (*I. paraguariensis*), com avaliação aos 60 dias de cultivo em câmara úmida.75
- APÊNDICE B - Resumo da análise de variância para área superficial de raízes (cm²) de miniestacas, em 21 clones de erva-mate (*I. paraguariensis*), com avaliação aos 60 dias de cultivo em câmara úmida.75
- APÊNDICE C - Resumo da análise de variância para diâmetro de raízes (mm) de miniestacas, em 21 clones de erva-mate (*I. paraguariensis*), com avaliação aos 60 dias de cultivo em câmara úmida.75
- APÊNDICE D - Resumo da análise de variância para volume de raízes (cm³) de miniestacas, em 21 clones de erva-mate (*I. paraguariensis*), com avaliação aos 60 dias de cultivo em câmara úmida.75

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1	DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE.....	16
3.2	PRODUÇÃO DE MUDAS DE ERVA-MATE POR SEMENTES.....	18
3.3	PROPAGAÇÃO VEGETATIVA DE ERVA-MATE.....	19
3.4	FATORES QUE INTERFEREM NA PROPAGAÇÃO VEGETATIVA POR MINIESTAQUIA	22
3.4.1	Genótipo.....	22
3.4.2	Tipo e tamanho da miniestaca	23
3.4.3	Época de coleta	24
3.4.4	Substrato de enraizamento	25
3.4.5	Condições fisiológicas e nutricionais da planta fornecedora de propágulos vegetativos.....	26
3.5	QUALIDADE DE MUDA DE ESPÉCIES FLORESTAIS	27
3.6	MELHORAMENTO GENÉTICO E SELEÇÃO DE CLONES PARA ENRAIZAMENTO E QUALIDADE DE MUDA	29
4	MATERIAL E MÉTODOS	30
4.1	ESTABELECIMENTO DE CLONES EM MINIJARDIM CLONAL	30
4.2	AVALIAÇÃO DOS CLONES PARA ENRAIZAMENTO ADVENTÍCIO DE MINIESTACAS DE ERVA-MATE	31
4.4	AVALIAÇÃO DOS CLONES PARA QUALIDADE DE MUDA DE ERVA-MATE	36
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1	ENRAIZAMENTO ADVENTÍCIO E TEMPO ÓTIMO DE PERMANÊNCIA EM CÂMARA ÚMIDA DE MINIESTACAS DE ERVA-MATE	37
5.2	QUALIDADE DE MUDA DE MINIESTACAS DE ERVA-MATE	53
5.3	SELEÇÃO DE CLONES COM COMPETÊNCIA AO ENRAIZAMENTO ADVENTÍCIO E QUALIDADE MUDA.....	58
6	CONCLUSÃO	61
	REFERÊNCIAS	62
	APÊNDICES	75

1 INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) é uma espécie nativa da floresta ombrófila mista, pertencente à família Aquifoliaceae, que se destaca por ser importante fonte de renda para produtores de alguns países da América do Sul, como o Brasil (SANSBERRO et al., 2000). A erva-mate é uma espécie de importância econômica, social e ecológica para a região Sul do Brasil, por fornecer matéria-prima, composta de folhas e ramos finos, para a medicina, composição de chás e o chimarrão (BITENCOURT et al., 2009).

O cultivo da espécie demanda a produção de mudas para atender aos plantios comerciais de indústrias ervateiras. Mas até o momento, as mudas de erva-mate têm sido produzidas via semente, limitando a produção em larga escala, devido a dormência, associada ao embrião imaturo e endocarpo duro (MEDEIROS, 1998), e o longo período necessário para a produção de mudas em viveiro (BISOGNIN et al., 2017; STURION, 1998). Diante das limitações e dificuldades verificadas para a produção de mudas por sementes, a propagação vegetativa a partir de indivíduos superiores se apresenta como alternativa mais viável (WENDLING; SANTIN, 2015). Nas últimas décadas, vários estudos foram realizados para desenvolver métodos eficientes para a produção de mudas de erva-mate por estaquia, porém, estes apresentaram baixos índices de enraizamento (WENDLING, 2004).

Com relação à propagação vegetativa via estaquia, a erva-mate é uma espécie de difícil enraizamento, de modo que os fatores que afetam este processo devem ser considerados e otimizados para o sucesso desta técnica (STUEPP et al., 2015). A propagação vegetativa é uma alternativa viável para a produção de mudas que possibilitam o estabelecimento de povoamentos de maior produtividade, uniformidade e qualidade (SILVA, 2005). Além disso, a implantação de ervais produtivos depende, em grande parte, da seleção de clones superiores associada à qualidade das mudas nos plantios. Porém, pouco se sabe sobre os fatores que interferem na qualidade morfofisiológica das mudas de erva-mate produzidas por miniestaquia (PIMENTEL et al., 2017). Além disso, a qualidade das mudas de erva-mate vêm afetando a atividade ervateira na região Sul do país, no qual foram verificadas reduções gradativas na produtividade, qualidade e rentabilidade dos ervais (WENDLING; SANTIN, 2015).

Contudo, a propagação vegetativa é afetada por diversos fatores que podem atuar isoladamente ou em conjunto, como a espécie, o genótipo, as condições

fisiológicas da planta matriz, a época e a posição de coleta, o grau de maturidade fisiológica das miniestacas, a presença de gemas e folhas e, os fatores ambientais, como temperatura e umidade relativa no ambiente de enraizamento (HARTMANN et al., 2011). Portanto, o sucesso da propagação vegetativa da erva-mate depende de estudos para maximizar o enraizamento das miniestacas, conforme as características e exigências de cada clone.

Para Sturion e Resende (1997), a falta de uma técnica que permita a propagação vegetativa da erva-mate de forma eficiente tem sido a principal limitação para o melhoramento genético da espécie e, a miniestaquia, uma variação da estaquia, pode ser um método eficiente no enraizamento adventício, além de, viabilizar o processo de produção de mudas clonais de erva-mate. A seleção de clones de erva-mate com competência ao enraizamento adventício de miniestacas (GAZZANA et al., 2020) abre a possibilidade para identificar dentre eles os que apresentam alta qualidade morfológica e fisiológica das mudas produzidas para viabilizar a produção massal de mudas por miniestaquia.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi selecionar clones de erva-mate que combinam competência ao enraizamento adventício com alta produtividade de miniestacas e qualidade morfofisiológica das mudas produzidas por miniestaquia.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este trabalho tem como objetivos específicos:

- i) Avaliar e selecionar clones de erva-mate com alto potencial de enraizamento de miniestacas ao longo do ano;
- ii) Avaliar e selecionar clones de erva-mate que enraízam no menor período de tempo em câmara úmida para maximizar a produção de mudas; e
- iii) Avaliar e selecionar clones de erva-mate que produzem mudas de alta qualidade morfofisiológica para o estabelecimento de novos plantios.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 DESCRIÇÃO DA ESPÉCIE

A *Ilex paraguariensis* recebe popularmente vários nomes como mate, erva-mate, erveira, congonha e outros, sendo uma espécie que apresenta distribuição natural desde o estado de Mato Grosso do Sul, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul (LORENZI, 2000). É uma espécie característica da Floresta Ombrófila Mista Montana em associações evoluídas com o pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia* Bert.) (CARVALHO 2003) (Figura 1). Seu cultivo é característico da região sul do Brasil, apresentando grande importância econômica, social e ambiental para os municípios onde a espécie é cultivada (CHECHI; SCHULTZ, 2016).

Figura 1- Distribuição geográfica da erva-mate na América do Sul.



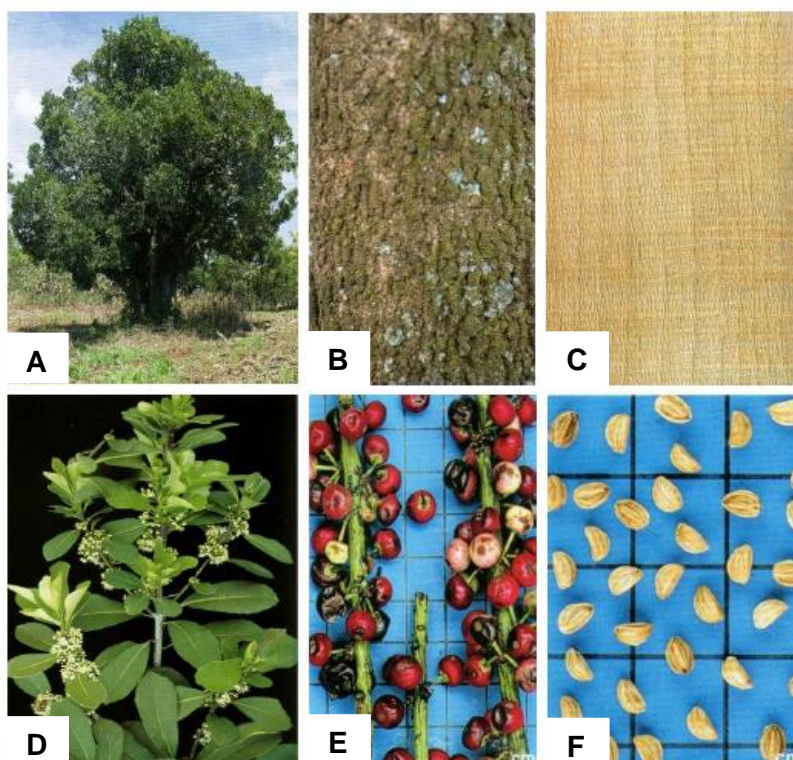
Fonte: Resende et al. (2000).

Oliveira e Rotta (1985) citam que a erva-mate apresenta ocorrência natural em solos bem drenados, profundos, com pH em torno de 5,0, altos teores de matéria orgânica e baixa saturação por bases. A espécie adapta-se bem em solos com teores de argila superiores a 35%, podendo ser encontrados também em solos com textura média (15 a 35% de argila). Já em solos com teores de argila inferiores a 15%, dificilmente a planta é encontrada.

De acordo com Bragagnolo et al. (1980), a erva-mate é uma espécie perene, podendo atingir até 15 m de altura e 0,5 m de diâmetro (DAP) em florestas naturais (Figura 2A). Em florestas plantadas, a fim de facilitar as operações de poda e colheita, busca-se manter altura de 3 a 5 m e DAP de 20 a 25 cm. As árvores apresentam tronco cilíndrico reto ou um pouco tortuoso, com casca externa áspera a rugosa com coloração externa cinza-claro a acastanhada (Figura 2B) e casca interna com textura arenosa e coloração branco-amarelada (Figura 2C) (CARVALHO, 2003; IVANCHECHEN, 1988).

A erva-mate é uma planta dióica, com flores díclinas e com um dos sexos abortivo, ou seja, nas flores femininas os estames não são funcionais e nas masculinas o pistilo é abortado. As folhas são simples e alternas (Figura 2D), com margem irregularmente serrilhada ou denteada. Já, as flores estão dispostas em inflorescência, são brancas e pequenas (Figura 2D) (CARVALHO, 2003). Segundo Carvalho (1994) a espécie apresenta floração de setembro a dezembro, apresentando frutos aptos a coleta e para estratificação nos meses de dezembro a abril. O fruto da erva-mate é drupóide, globoso, com mesocarpo carnoso, endocarpo ósseo-lenhoso, de superfície lisa e cor vermelho-arroxeadado (Figura 2E). As sementes possuem superfície lisa, cor castanho-claro a escuro, tegumento duro e forma variável (Figura 2F) (CARVALHO, 2003).

Figura 2 - Árvore (A), casca (B), madeira (C), flores e folhas (D), frutos (E) e sementes (F) de erva-mate.



Fonte: CARVALHO, 2003; LORENZI, 2008.

3. 2 PRODUÇÃO DE MUDAS DE ERVA-MATE POR SEMENTES

A principal forma de estabelecimento dos ervais no Brasil é realizada através da produção de mudas por sementes, geralmente sem critérios de seleção de plantas matrizes gerando baixos níveis de produtividade nos plantios (SANTIN et al., 2015). As sementes de erva-mate são de difícil germinação, devido à dormência (embrião imaturo e endocarpo duro) (MEDEIROS, 1998), que dificulta a produção de mudas dessa espécie.

Diante das limitações para a produção de mudas seminais, a propagação vegetativa é uma forma de viabilizar o processo produtivo dessa espécie, proporcionando mudas com maior rapidez, uniformidade e qualidade. Contudo, a propagação vegetativa é afetada por diversos fatores que podem atuar isoladamente ou em conjunto, como a espécie, o genótipo, as condições fisiológicas da planta matriz, a época de coleta, a posição de coleta do ramo na planta e da estaca no ramo, o grau de maturação das miniestacas, os reguladores de crescimento, a presença de gemas e folhas e os fatores ambientais, como temperatura e umidade relativa no

ambiente de enraizamento (HARTMANN et al., 2011). Portanto, o sucesso da propagação vegetativa depende de estudos para maximizar o enraizamento das miniestacas conforme as características e exigências de cada espécie. Porém, até o momento, não há resultados satisfatórios para a propagação vegetativa de erva-mate, havendo crescente necessidade de selecionar uma técnica adequada para produção de mudas (WENDLING, 2004). Assim, torna-se necessário a definição de metodologias eficientes para a produção de mudas com qualidade genética e morfofisiológica, como os métodos de propagação assexuada (PIMENTEL, 2016).

Diante dos fatores que alteram a qualidade morfofisiológica das mudas produzidas, destacam-se o recipiente, o substrato, a adubação e o manejo das mudas (ULIANA, 2009), sendo o recipiente considerado um dos fatores que mais contribuem para a qualidade das mudas produzidas (CARNEIRO, 1995). Porém, poucos estudos relatam estes aspectos para a produção de mudas de erva-mate com qualidade, visando aumentar a produtividade dos ervais, especialmente via estaquia e miniestaquia.

3.3 PROPAGAÇÃO VEGETATIVA DE ERVA-MATE

A propagação vegetativa consiste em multiplicar por via assexuada indivíduos utilizando partes de plantas, órgãos, tecidos ou células, dando origem a indivíduos geneticamente idênticos a planta fornecedora dos propágulos (WENDLING, 2003; SOMAVILLA, 2018). Dentre as principais vantagens da propagação vegetativa destacam-se a alta produtividade, se o genótipo selecionado for altamente produtivo, a uniformidade e qualidade dos produtos, a seleção de clones resistentes à pragas e doenças (WENDLING, 2003) e, a rapidez na produção de mudas (WENDLING, 2005). Porém, como em qualquer processo de seleção, a propagação vegetativa reduz a variabilidade genética das plantas produzidas e, quando um único clone é cultivado se obtém a máxima uniformidade genética.

Na propagação vegetativa, a mitose é o processo responsável pelo controle da multiplicação, crescimento e desenvolvimento das plantas, na qual é mantida a identidade genética da planta matriz. Dessa forma, um propágulo vegetativo pode ser uma miniestaca, estruturas florais, segmentos vegetativos, gemas, calos, bulbos e estalões. O uso de um propágulo ou outro está em função dos objetivos desejados, da espécie, da disponibilidade de material vegetativo e da estrutura de propagação

disponível. O processo de regeneração de uma planta por propagação vegetativa somente é possível pela totipotência das células vegetais, pela potencialidade em iniciar um indivíduo novo, completo e multicelular (HARTMANN et al., 2002; XAVIER et al., 2009; HEBERLE, 2010).

A propagação vegetativa de espécies arbóreas surge como alternativa de superação de dificuldades inerentes a propagação via seminal, que associada aos programas de melhoramento genético, permite melhorar a qualidade, velocidade e porcentagem de enraizamento das miniestacas (XAVIER et al., 2003; SOMAVILLA, 2018). Dentre as técnicas que podem ser empregadas para a propagação vegetativa de espécies florestais, destaca-se a estaquia e a cultura de tecidos. A técnica mais utilizada, obtendo bons resultados com plantas lenhosas, tem sido a estaquia (XAVIER et al., 2009; HEBERLE, 2010), devido a facilidade das operações e o baixo custo (NEVES, et al., 2006). Além disso, essa técnica possibilita a formação de um banco de matrizes em casa de vegetação, que fornece material para produção de mudas, visando à conservação da espécie e permitindo a seleção dos indivíduos com as melhores características para a produção de mudas em escala comercial (OLIVEIRA et al., 2016; BURIN et al., 2018a).

A estaquia é um processo de propagação no qual porções de caules, ramos, folhas ou raízes são colocadas sob condições propícias ao enraizamento, dando origem a uma nova planta (SCHUMACHER; VIEIRA, 2015). Além disso, é uma técnica de propagação vegetativa que utiliza e permite a produção de grande quantidade de mudas idênticas à planta matriz e a formação de pomares homogêneos (NETO, 2006).

Ademais, a miniestaquia pode ser considerada uma variação da técnica da estaquia convencional. É uma técnica que consiste da utilização de brotos de plantas propagadas pela estaquia ou mudas produzidas por sementes estabelecidas em minijardins clonais (ALFENAS et al., 2004). Surge como alternativa para suprir a necessidade de resgate do rejuvenescimento do material propagativo (HARTMANN, 2002), possibilita a propagação de genótipos de difícil enraizamento, com aumento da porcentagem de enraizamento das miniestacas (ALFENAS et al., 2004). Além de possuir vantagens como redução da área produtiva (minijardim clonal), diminuição do período de enraizamento, aclimatação e, principalmente, redução do uso de fitorreguladores para promover o enraizamento (HIGASHI et al. 2000; XAVIER et al., 2003; WENDLING et al., 2005). Além disso, redução dos custos com transporte, coleta das brotações e maior eficiência das atividades de manejo (XAVIER et al., 2009), pois

os minijardins clonais são estabelecidos próximos as estruturas de estaqueamento e produção de mudas no mesmo viveiro. Para a erva-mate, essa técnica poderá melhorar a qualidade dos povoamentos e, principalmente, reduzir o tempo para a produção de mudas (HIGA, 1983).

O processo de estaquia inicia com a seleção de plantas matrizes, as quais servirão de base para a coleta de propágulos para a formação dos futuros plantios clonais. Entretanto, quando a árvore matriz atinge a maturidade, a propagação por estaquia torna-se difícil, sendo necessário utilizar tratamentos na planta matriz para induzir a formação de brotos e o rejuvenescimento/revigoramento dos propágulos. O método mais recomendado é o corte raso da árvore a 15 cm do solo. Porém, esse método pode resultar na perda da árvore matriz, caso não rebrote. Outra alternativa para a indução das brotações é o anelamento com 1,5 a 3 cm de largura em toda a circunferência da árvore (SCHUMACHER; VIEIRA, 2015). Para Bisognin et al. (2018), é possível resgatar plantas adultas de erva-mate por estaquia de brotações epicórmicas induzidas por poda, anelamento ou decepa. Ainda, brotações coletadas na base da planta são mais juvenis do que aquelas em direção ao ápice, apresentando maior aptidão para o enraizamento adventício. Além disso, a utilização da miniestaquia seriada pode ser uma alternativa para o rejuvenescimento e revigoramento dos propágulos para a produção de mudas por estaquia. Segundo Wendling e Xavier (2005), a miniestaquia seriada promoveu aumento no número de raízes e proporcionou maior vigor radicular nos clones *Eucalyptus grandis* de menor potencial de enraizamento adventício.

Em se tratando de propagação vegetativa de erva-mate, Bitencourt e al. (2009) observaram que as estacas provenientes de rebrota, material rejuvenescido, obtiveram maior porcentagem de enraizamento (65,5%), assim como maior número de raízes (13,2 raízes/estaca) e maior comprimento médio das três maiores raízes (27,8 mm/estaca) em comparação com as estacas provenientes de brotações do ano. Além disso, a aplicação de AIB não afetou o enraizamento, que pode indicar que há uma quantidade endógena de auxinas suficiente para promover a formação de raízes adventícias, uma vez que as estacas maduras não enraizaram. Similares resultados foram obtidos por Almeida et al. (2007), que obtiveram enraizamento superior a 90% de estacas coletadas de brotações de clones com 5 anos de idade. Pimentel (2016) observou que o enraizamento das miniestacas de erva-mate variou conforme o clone e a sazonalidade. As melhores porcentagens de enraizamento foram observadas na

época de outono e/ou inverno para os clones avaliados. O uso de AIB (2000 mg L⁻¹) acelerou o processo rizogênico dos clones, reduzindo o tempo ótimo de permanência em câmara úmida.

3.4 FATORES QUE INTERFEREM NA PROPAGAÇÃO VEGETATIVA POR MINIESTAQUIA

3.4.1 Genótipo

A obtenção de populações melhoradas que satisfaçam as exigências da produtividade florestal depende da capacidade de identificar indivíduos superiores dentro de uma população. Uma estratégia eficiente para a seleção dos genótipos é a combinação dos testes de procedência e progênes (FRAMPTON; FOSTER, 1993). Em geral, quanto maior o número efetivo de indivíduos avaliados por unidade de tempo, maiores são as chances de sucesso na seleção. Porém, as etapas de avaliação e seleção são as mais caras e demoradas dentro de um programa de melhoramento genético, dificultando a execução e elaboração de amplos programas de seleção (SILVA et al., 2003). Uma das formas de reduzir o tempo de seleção é a utilização das técnicas de propagação vegetativa, que visam determinar rapidamente os ganhos genéticos aditivos e não aditivos através de árvores selecionadas e acelerar o programa de obtenção de clones mais produtivos para a silvicultura clonal intensiva, através de testes clonais e áreas de multiplicação clonal (FERREIRA, 1992).

Os parâmetros genéticos para o número de miniestacas enraizadas por minicepa de erva-mate mantida em minijardim clonal pode ser utilizado na seleção de clones para o enraizamento adventício entre e dentro das progênes de erva-mate, podendo este critério ser utilizado nos programas de melhoramento genético da erva-mate por miniestaquia. Os ganhos genéticos proporcionados com a seleção entre e dentro das progênes foram satisfatórios, além de permitir maior eficiência na escolha dos melhores indivíduos dentro da população (GAZZANA, 2019).

Na propagação vegetativa por estaquia e miniestaquia é possível identificar respostas diferenciadas no enraizamento entre clones, pois cada material genético requer uma condição ambiental específica (AZEVEDO et al., 2015). Para minimização do efeito genotípico é possível adequar as técnicas de propagação vegetativa para a espécie propagada e realizar a técnica da miniestaquia seriada para promover a

juvenilidade dos propágulos (WENDLING; XAVIER, 2003), bem como, selecionar genótipos com maior competência ao enraizamento adventício (SOMAVILLA, 2018). Desta forma, deve-se identificar os fatores que afetam a rizogênese e proporcionar as melhores condições para a formação das raízes conforme cada genótipo (PITA JÚNIOR, 2010).

3.4.2 Tipo e tamanho da miniestaca

O tipo de propágulo utilizado para o enraizamento adventício é importante para definir a melhor forma de propagação para cada espécie e potencializar a produção (MORAES et al., 2014). A formação de raízes pode ser influenciada pelo tamanho da miniestaca e pela sua capacidade de sobrevivência, quando a mesma permanece viva por um período de tempo maior, uma vez que quanto maior o tempo em que ela permanece viva maiores são as chances de que os fatores internos atuem a favor do enraizamento (PICHETH, 1997).

Além disso, o tamanho e o número de folhas mantidas nas miniestacas pode afetar positiva ou negativamente o potencial de enraizamento adventício (FACHINELLO et al., 2005), pela direta relação existente entre a presença de folhas na miniestaca e a produção e disponibilização de hormônios ligados ao enraizamento adventício. As miniestacas de múltiplas gemas podem ser mais suscetíveis à desidratação, devido à grande superfície exposta ao ambiente e a maior demanda por água para suprir o tecido vivo. Além disso, uma boa capacidade de enraizamento para miniestacas de menor comprimento, pode ser explicada pela maior concentração de auxina endógena e pelo grau de juvenilidade (TAIZ; ZEIGER, 2004). Para o enraizamento de miniestacas de erva-mate, a presença de folhas foi indispensável e os melhores resultados foram obtidos utilizando-se um par de folhas cortadas pela metade (50%), sendo que na ausência de folhas não houve enraizamento (TAVARES et al., 1992). Para a miniestaquia de louro-pardo (*Cordia Tricothoma*), as miniestacas apicais de menor comprimento apresentaram maior competência ao enraizamento adventício, obtendo maior porcentagem, número e comprimento de raízes. Sendo que as miniestacas de gema única, mesmo quando tratadas com altas concentrações de AIB, apresentaram baixos índices de enraizamento (SOMAVILLA, 2018). Para Moraes et al. (2014), miniestacas caulinares de mudas seminais são mais aptas para o

enraizamento adventício para o cedro-australiano (*Toona ciliata* M. Roem.) em relação à miniestacas foliares, sendo que estas não apresentaram brotação e crescimento da parte aérea durante 30 dias de cultivo.

Diante dos resultados, é possível observar que o tipo e o tamanho das estacas pode ser um fator limitante para o sucesso na propagação vegetativa por estaquia. Assim, deve-se identificar o tipo de propágulo mais apropriado para cada espécie, visando um desenvolvimento radicial satisfatório para a produção de mudas.

3.4.3 Época de coleta

Em alguns casos, a época de coleta das brotações utilizadas no preparo das miniestacas também apresenta grande importância para o enraizamento adventício. Para espécies de fácil enraizamento, os propágulos vegetativos podem ser coletados em qualquer época do ano (PAIVA; GOMES, 1995). Já para espécies de difícil enraizamento, a época de coleta coincide com a estação de crescimento (WENDLING, 2004), o que não foi observado para erva-mate (PIMENTEL, 2016). Dessa forma, para cada espécie existe uma condição ambiental específica, sendo necessário determinar a melhor época de coleta do material vegetativo destinado a propagação vegetativa (XAVIER et al., 2009).

Na miniestaquia da erva-mate, Pimentel (2016) observou que os maiores números de miniestacas enraizadas por minicepa foram observados nas estações do outono (16,8) e inverno (12,1) e não variou entre os clones avaliados, sendo que o menor número foi observado na primavera (3,2), sem diferir do verão (6,8). Os resultados obtidos pela autora, mostram que a época do ano pode influenciar a formação de raízes adventícias, como também o número de miniestacas enraizadas por minicepa de erva-mate. Em contrapartida, na miniestaquia de louro-pardo (*Cordia Trichotoma*) a maximização na produção de mudas por miniestaquia através do potencial de enraizamento adventício, pode ser obtida através da coleta de material vegetativo realizado no verão, que resultou em maiores porcentagens de enraizamento, número e comprimento de raízes (SOMAVILLA, 2018). Os mesmos resultados foram obtidos para *Pinus Taeda*, em que as épocas de verão e primavera apresentaram resultados superiores para coleta de brotações, propiciando maior porcentagem de enraizamento, mesmo sem utilizar AIB (ALCANTARA, 2008). Essas respostas podem ser devido a exposição anterior de um período de repouso

vegetativo que favorece o acúmulo de carboidratos e, como consequência, a formação de raízes nas épocas mais quentes do ano, associadas a maior atividade metabólica (ALCANTARA, 2007) e síntese de auxina (FACHINELLO et al., 2005).

Dessa forma, o enraizamento adventício das miniestacas está diretamente relacionado com a época de coleta das brotações, atuando nas condições fisiológicas da planta matriz (XAVIER et al., 2009), no grau de lignificação da miniestaca (FACHINELLO et al., 2005) e na produção de auxina (HARTMANN et al., 2011). Para cada espécie deve-se determinar a melhor época de coleta de brotações bem como a influência da época de coleta na produção e qualidade das mudas produzidas por miniestaquia (XAVIER et al., 2009).

3.4.4 Substrato de enraizamento

O substrato para a produção de mudas podem ser formado por um único material ou pela combinação de diferentes componentes (BOENE et al., 2013). Entretanto, há carência de informações quanto ao tipo e composição de substratos para a produção de mudas via miniestaquia para as espécies nativas (DIAS et al., 2012), inclusive para a erva-mate. A escolha do substrato adequado ao enraizamento deve sustentar as miniestacas durante o período de enraizamento, proporcionar umidade, um ambiente escuro, permitir aeração (HARTMANN et al., 2011), ser homogêneo, livre de patógenos, ter baixa densidade, ser bem drenado e poroso, além de, ser viável economicamente (BITENCOURT et al., 2010). A temperatura do substrato também exerce grande função reguladora do metabolismo das miniestacas e é muito importante na propagação vegetativa, pois induz e controla a formação de raízes adventícias (GOMES et al., 1996).

Para a produção de mudas de erva-mate via miniestaquia, Quadros (2009) verificou que o substrato à base de casca de arroz carbonizada apresentou as maiores taxas e comprimentos de raízes durante a aclimatização e o enraizamento de microestacas de erva-mate. Em contrapartida, a vermiculita apresentou 100% de mortalidade, sendo que a areia apresentou as menores taxas de enraizamento e, juntamente com a fibra de coco, o menor comprimento médio de raízes. Wendling et al. (2007) demonstraram que a combinação de vermiculita média, casca de arroz carbonizada e casca de pinus (1:1:1 v/v) na formulação de substrato favorece a sobrevivência (85,8%) de miniestacas de erva-mate. Os mesmos resultados foram

obtidos por Brondani et al. (2009), no qual a mistura de casca de arroz carbonizada, substrato à base de casca de pinus e vermiculita na proporção 1:1:1 (v/v/v) trouxeram resultados satisfatórios para a propagação vegetativa de erva-mate. Os substratos à base de casca de pinus e à base de casca de pinus com vermiculita foram os únicos substratos que diferiram estatisticamente para os clones de erva-mate avaliados. As composições de substrato à base de casca de arroz carbonizada com vermiculita fina (1:1 v/v), substrato comercial à base de casca de pinus e vermiculita (1:1 v/v), casca de arroz carbonizada com substrato comercial à base de casca de pinus e vermiculita (1:1:1 v/v/v), casca de arroz carbonizada com vermiculita fina e fibra de coco (1:1:1 v/v/v), não diferiram entre si para o enraizamento de miniestacas de erva-mate.

3.4.5 Condições fisiológicas e nutricionais da planta fornecedora de propágulos vegetativos

Em algumas espécies lenhosas, os propágulos provenientes de plantas jovens enraízam facilmente, já para alguns propágulos advindos de plantas adultas apresentam dificuldade para enraizar (XAVIER et al., 2009). Esse fato pode ser observado na erva-mate, no qual os ramos jovens apresentam maior competência ao enraizamento adventício em relação aos ramos mais velhos (BITENCOURT et al., 2009). Em erva-mate, miniestacas do clone 13SM05 com diâmetro de até 0,712 mm apresentaram as maiores porcentagens de sobrevivência e enraizamento do que aquelas de maior diâmetro (GAZZANA et al., 2020). Isso está associado ao maior grau de lignificação das miniestacas e, conseqüentemente, maior dificuldade para enraizar. Além disso, miniestacas advindas de material adulto apresentam maior grau de maturidade e menor atividade fisiológica do tecido e, conseqüentemente, impedimentos para a formação de raízes (HARTMANN et al., 2002; XAVIER et al., 2009). Segundo Hartmann et al. (2002), a lignificação dos tecidos pode influenciar a emissão de raízes, visto que a peroxidase, enzima responsável pela síntese de lignina, degrada a auxina, substância responsável pelo enraizamento.

Outro fator de grande influência na miniestaquia de espécies lenhosas é o estado nutricional das plantas fornecedoras de propágulos (XAVIER et al., 2009), pois interfere na quantidade de carboidratos favoráveis para a indução e o crescimento das raízes (CUNHA et al., 2009). Além disso, a planta fornecedora de propágulos vegetativos deve estar livre de patógenos, danos causados por geada ou seca,

estresse hídrico e insetos (FACHINELLO et al., 2005), permitindo assim maior equilíbrio e indução para a formação de raízes.

3.5 QUALIDADE DE MUDA DE ESPÉCIES FLORESTAIS

A formação de mudas de qualidade pode melhorar o seu desempenho em condições de campo e aumentar a produtividade. De acordo com Lisboa et al. (2012), o volume de substrato adequado para o crescimento das mudas pode variar entre as espécies, visto que recipientes com maiores dimensões ocupam maior área em viveiro e os de menores dimensões necessitam de menor quantidade de substrato, contribuindo para o custo final. De acordo com Oliveira et al. (2016) os tubetes, apesar de serem mais caros, necessitam de menor volume de substrato, menor tempo de preenchimento com substrato que os sacos plásticos, requerem menor espaço para armazenamento, são de fácil transporte e contribuem para a redução do custo final na produção de mudas.

Os recipientes podem ser sacos plásticos de polietileno negro, tubetes de polipropileno, vasos de prolipopileno e, tubetes e vasos de fibra celulósica. Além disso, podem ser utilizados caixas de leite, caixas de suco e garrafas pet, contribuindo para a reciclagem e preservação do meio ambiente. Para Gasparin et al. (2014) o tipo de recipiente influencia na quantidade de água e nutrientes disponíveis para o desenvolvimento das plantas. De acordo com Melo et al. (2018) mudas de sansão-do-campo (*Mimosa caesalpiniiifolia* Benth) produzidas em tubetes de maior volume (110, 180 e 280 cm³) apresentaram melhores características morfológicas quando comparado com os de menor volume (30 e 55 cm³), que pode ter relação com a maior disponibilidade de água e nutrientes, devido ao maior volume de substrato. Para a erva-mate, foi verificado maior comprimento total, área superficial, volume total e número de extremidades das raízes em sacos de polietileno com volume de 500, 1500 e 3000 cm³ e os menores resultados foram obtidos em tubetes de menor volume, aos 120 dias de cultivo (PIMENTEL, 2016). Segundo a autora, os sacos de polietileno, devido ao seu maior volume, possibilitaram maior desenvolvimento, distribuição espacial das raízes e melhor qualidade morfofisiológica das mudas produzidas.

Porém, é difícil encontrar um material que de forma isolada atenda às exigências de uma espécie a ser cultivada (SANTOS et al., 2000). Além disso, o substrato proporciona suporte físico às raízes, disponibilidade de água e nutrientes

necessários para o desenvolvimento. Segundo Kratz et al. (2013), as propriedades físicas de um substrato são mais importantes que as propriedades químicas, por serem difíceis de modificá-las após o condicionamento em recipientes, já as características químicas podem ser facilmente corrigidas através da irrigação ou fertirrigação, outro fator importante na produção das mudas com qualidade. Para Silva et al. (2012), substratos que apresentam maior porosidade promovem um sistema radicular de melhor qualidade, mudas com maior diâmetro, massa seca da parte aérea e índice de qualidade de Dickson. Para a erva-mate, Wendling et al. (2007) verificaram que o substrato formado por esterco bovino e serragem semidecomposta (2:3 v/v) proporcionaram melhor qualidade morfofisiológica das mudas produzidas, maior facilidade de preparo e baixo custo de obtenção. Brondani et al. (2007) observaram que o tipo de substrato adotado é de grande importância na produção de mudas de erva-mate por miniestaquia de material juvenil, sendo que o substrato a base de casca de arroz carbonizada e vermiculita (1:1 v/v) apresentou bom desenvolvimento de miniestacas para a espécie.

Atualmente, existem no mercado adubos comerciais que são usados para produção de mudas no viveiro e pós-plantio. Uma boa adubação é uma das possíveis opções para minimizar as perdas pós-plantio. Dessa forma, produzir mudas resistentes, mais capacitadas para sobreviver às adversidades encontradas no campo são necessárias (SOUZA et al., 2006). Dentre outros fatores de natureza silvicultural, a nutrição das mudas via adubação de seus substratos de crescimento desponta como um dos principais responsáveis pela obtenção de maior produtividade e qualidade das mudas produzidas (NEVES et al., 1990; SOUZA et al., 2006). De acordo com Souza et al. (2013), o fósforo é o elemento mais importante na adubação que juntamente com o nitrogênio, proporcionaram maior desempenho das mudas de canafístula (*Peltophorum dubium*). Além disso, o uso de fósforo na adubação proporcionou maior índice de qualidade de Dickson, mostrando a importância deste elemento na qualidade de muda para esta espécie. Para Ceconi et al. (2006) a adubação fosfatada também promoveu maior crescimento de mudas de açoita-cavalo (*Luehea divaricata* Mart.), sendo que a dose de 360 mg kg⁻¹ foi a que resultou em maior crescimento das mudas produzidas. Já para Schumacher et al. (2004) para angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (Bentham) Brenan) a melhor dose foi de 450 mg Kg⁻¹. Dessa forma, é de suma importância identificar as melhores condições para

o desempenho de mudas florestais com qualidade de acordo cada espécie e necessidade.

3.6 MELHORAMENTO GENÉTICO E SELEÇÃO DE CLONES PARA ENRAIZAMENTO E QUALIDADE DE MUDA

A propagação vegetativa visa multiplicar plantas selecionadas e está associada à programas de melhoramento florestal, que apresenta como objetivo aumentar o crescimento, a produtividade e a qualidade dos produtos com a seleção de genótipos com características superiores (ALFENAS et al., 2009). A clonagem de genótipos superiores é uma alternativa para aumentar a produtividade florestal, visando capturar ganhos genéticos aditivos e não aditivos, advindo do melhoramento de plantas (OLIVEIRA et al., 2015). Além disso, possibilita fixar alguma característica importante, substâncias químicas muito específicas, combinações e interações de variância genética superior (BISOGNIN et al., 2011).

A seleção precoce de genótipos quanto ao enraizamento adventício de miniestacas em programas de melhoramento genético pode reduzir o tempo de seleção e poderá ser importante para espécies recalcitrantes à propagação vegetativa (OLIVEIRA et al., 2015), como a erva-mate. A origem genética influencia o bom desenvolvimento das mudas, o rendimento e a qualidade das matérias-primas produzidas (SANTIN et al., 2015). Além disso, a clonagem de genótipos superiores pode aumentar a produção dos plantios florestais e capturar ganhos genéticos necessários em programas de melhoramento florestal (OLIVEIRA et al., 2015). A seleção precoce de genótipos superiores com altas taxas de multiplicação por propagação vegetativa pode reduzir a variabilidade genética e contribuir para a otimização e o sucesso na produção de mudas florestais por miniestaquia (ALFENAS et al., 2009), conforme verificado em miniestacas de gema única para a erva-mate (PIMENTEL et al., 2019; PIMENTEL et al., 2020).

A seleção com base no enraizamento adventício promoveu ganho de seleção indireto de 79,1% para miniestacas enraizadas, 61% para porcentagem de enraizamento e 26,1% para porcentagem de brotação em *Cabralea canjerana* (BURIN, et al., 2018b). Para esta espécie, o número de miniestacas enraizadas seguido de porcentagem de enraizamento, proporcionou os maiores ganhos de seleção. Para a erva-mate (*Ilex paraguariensis*) a seleção de genótipos com base no

número de miniestacas enraizadas também foi importante (GAZZANA et al., 2020). O maior ganho de seleção também foi obtido através do número de miniestacas enraizadas (48,4%) seguido de comprimento médio das três maiores raízes (29,4%). Para *Eucalyptus cloeziana* o ganho genético em relação à média geral do experimento foi de ordem de 100% para enraizamento de miniestacas e acima de 63% para a presença de calos (OLIVEIRA et al., 2015). Dessa forma, estes resultados indicam boas possibilidades de ganhos de seleção com base no número de miniestacas enraizadas, que pode indicar boas possibilidades de ganhos para a erva-mate, necessários em programas de melhoramento florestal. Diante disso, a seleção de clones de erva-mate para a propagação vegetativa por miniestaquia deve ser com base no enraizamento adventício, devido à importância desta característica em relação aos valores genéticos necessários em programas de melhoramento florestal e à viabilização na produção de mudas.

Em relação a seleção de clones para crescimento de altura no campo para *Eucalyptus urophylla* ST Blake, Godoy e Rosado (2011) verificaram que a seleção de mudas em viveiro para diâmetro do colo, matéria seca do caule/matéria seca da raiz e índice de qualidade de Dickson usando o diâmetro do colo da raiz, apresentou maiores ganhos indiretos para crescimento de altura das mudas no campo aos 8 meses de idade (84,4, 71,9 e 65%, respectivamente). Dessa forma, essas três características indicativas de qualidade de muda podem ser utilizadas para seleção de clones com maior crescimento em altura para a erva-mate, visando maior crescimento inicial no campo e, conseqüentemente, maior produtividade.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 ESTABELECIMENTO DE CLONES EM MINIJARDIM CLONAL

Em 12 de julho de 2019, o minijardim clonal de sistema fechado de cultivo sem solo foi estabelecido através de 50 clones previamente selecionados por Gazzana et al. (2020) através da competência ao enraizamento adventício, segundo metodologia descrita por Bisognin et al. (2017). Este foi composto por duas telhas de fibrocimento (6 mm), suspensa em uma base sustentada por quatro cavaletes. A superfície das telhas foi revestida com plástico transparente de 100 µm de espessura, mantendo as ondulações das telhas e fixo em uma armação de madeira (5,00 x 1,00 x 0,06 m) para

garantir a estabilização da área de cultivo. Os canais foram preenchidos com brita basáltica média (3 cm) e sobre a brita foi colocado uma tela fina de polietileno (1 mm) coberta por uma camada de areia grossa (6 cm) até o limite da borda de madeira.

Os clones previamente selecionados de erva-mate foram plantados em fileiras, com espaçamento de 10 cm entre as mudas e as fileiras. A solução nutritiva composta por macro e micronutrientes foi incorporada diariamente na irrigação do minijardim e fornecida duas vezes ao dia, durante 15 minutos com o auxílio de um programador digital e uma bomba submersa de baixa vazão (Figura 1). Esta foi formulada com as seguintes quantidades de macronutrientes: 6,13 mmol L⁻¹ de nitrato de potássio; 10,0 mmol L⁻¹ de nitrato de cálcio (Calcinit); 16,78 mmol L⁻¹ de sulfato de magnésio; 1,44 mmol L⁻¹ de nitrato de amônio; 1,39 mmol L⁻¹ de monofosfato de potássio e 1,68 mmol L⁻¹ de ferro. Os micronutrientes foram adicionados à solução nutritiva (7,5 mL) em mistura previamente preparada contendo 0,15 mmol L⁻¹ de molibdato de sódio; 0,89 mmol L⁻¹ de ácido bórico; 1,25 mmol L⁻¹ de sulfato de cobre; 1,23 mmol L⁻¹ de sulfato de manganês e 0,28 mmol L⁻¹ de sulfato de zinco. O pH da solução nutritiva foi mantido entre 5,0 e 5,5 e a condutividade elétrica em 1 dS m⁻¹, ajustados semanalmente.

Aproximadamente 30 dias após o plantio das mudas no minijardim clonal, foi realizada a poda drástica das mesmas para formar as minicepas de erva-mate, promovendo o crescimento e desenvolvimento das brotações laterais para fornecer as miniestacas para os experimentos. Em cada minicepa foi mantido 10% das brotações laterais, para garantir a atividade fotossintética necessária para o crescimento e desenvolvimento de novas brotações.

As coletas das brotações foram realizadas de maio de 2020 a julho de 2021 e a avaliação dos experimentos de julho de 2020 a agosto de 2021, em casa de vegetação climatizada, casa de enraizamento e casa de sombra do Núcleo de Melhoramento e Propagação Vegetativa de Plantas (MPVP), do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

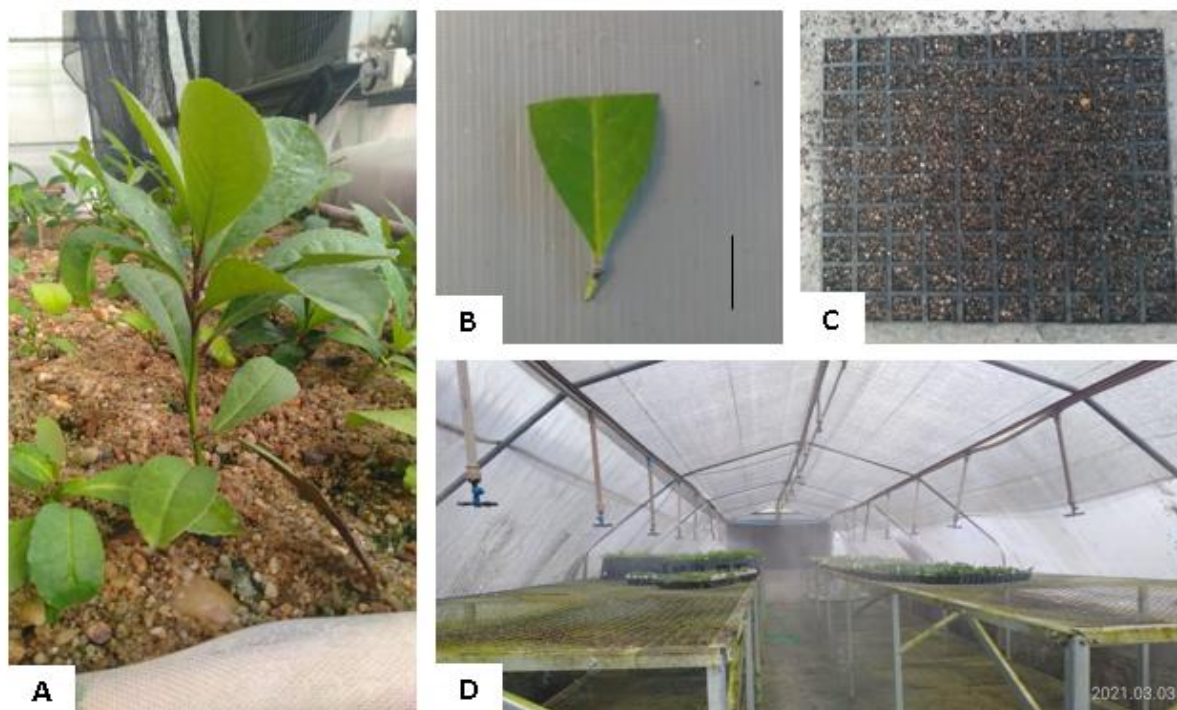
4.2 AVALIAÇÃO DOS CLONES PARA ENRAIZAMENTO ADVENTÍCIO DE MINIESTACAS DE ERVA-MATE

Após 60 dias da poda drástica da parte aérea das mudas, foi realizada a coleta de brotações (Figura 4A) das minicepas de erva-mate dos diferentes clones, que foram seccionadas em miniestacas. A coleta de miniestacas foram realizadas em

intervalos variáveis, de acordo com a disponibilidade de brotações nas minicepas. As miniestacas foram confeccionadas com aproximadamente 2,0 cm de comprimento, de gema única e uma folha reduzida à metade da sua área original (Figura 4B) e, tratadas com solução hidroalcoólica de AIB na concentração de 2000 mg L⁻¹, por 10 segundos, conforme protocolo do MPVP.

Para todas as avaliações de competência ao enraizamento, as miniestacas foram cultivadas em bandejas de polietileno com 100 alvéolos contendo substrato comercial a base de casca de pinus, vermiculita média e areia de granulometria grossa (1:1:1 v/v/v) (Figura 4C). As miniestacas foram mantidas em câmara úmida automatizada (Figura 4D e 4E), sob umidade relativa do ar acima de 90%, mantida com sistema de resfriamento e nebulização acionados automaticamente conforme a temperatura do ar no interior da câmara úmida. O sistema de resfriamento foi programado para funcionar durante o intervalo entre 34 e 36°C de temperatura no interior da câmara úmida.

Figura 3 - Broto de erva-mate formado em minijardim clonal (A), seccionados em miniestacas de gema única com folha reduzida à metade de sua área original (B), cultivadas em bandejas de polietileno com 100 alvéolos e substrato comercial à base de casca de pinus, vermiculita média e areia de granulometria grossa (1:1:1 v/v/v) e mantidas em câmara úmida durante 60 dias para enraizamento (D). Barra = 2 cm.



Fonte: Autora (2020; 2021).

Após 60 dias de cultivo em câmara úmida, efetuou-se a caracterização morfológica das raízes, por meio de imagens digitalizadas através do software WinRhizo Pro 2014 (Régent Instr. Inc.), conectado ao scanner EPSON Expression STD4800, com luz adicional (TPU) e resolução de 600 DPI. Para isso, foram tomadas aleatoriamente cinco miniestacas enraizadas para cada clone, totalizando 21 clones. Mensurou-se o comprimento das raízes (cm), área de superfície de raiz (cm²), diâmetro médio de raiz (mm) e volume radicial (cm³). Os dados foram submetidos à análise de variância, sendo que para atender os pressupostos da normalidade, os dados foram transformados por Box-cox antes de serem submetidos à análise. As médias dos clones foram comparadas pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro, com auxílio do software R (R Development Core Team, 2016).

Para a determinação do tempo ótimo de enraizamento, foram previamente selecionados 8 clones (17SMLZ-43, 17SM1-27, 15MA5, 17SM3-16, 17SMJS-48, 17SMJS-24, 17SM4-25 e 17SM4-24) com base no enraizamento adventício. O

delineamento experimental foi inteiramente casualizado e, foram coletadas, conforme disponibilidade, até 30 miniestacas de cada clone para avaliação do tempo ótimo de enraizamento em câmara úmida. As miniestacas foram avaliadas quanto a porcentagem de sobrevivência e de enraizamento, presença de raiz primária e secundária e, número e comprimento das três maiores raízes, em intervalos de tempo regulares de 7 dias até o 63° dia.

Para a obtenção do tempo ideal de permanência das miniestacas em câmara úmida, foram calculados o incremento corrente diário (ICD) e incremento médio diário (IMD) (FERREIRA et al., 2004), para porcentagem de enraizamento, número e comprimento das três maiores raízes e, porcentagem de raízes secundárias, através das seguintes fórmulas:

$$ICD = X_{(i+1)} - X_{(i)}$$

$$IMD = \frac{X_{(i)}}{T_{(i)}}$$

Sendo:

ICD = Incremento Corrente Diário;

IMD = Incremento Médio Diário;

i = tempo de avaliação;

$X_{(i+1)}$ = porcentagem de enraizamento no tempo $i+1$;

$X_{(i)}$ = porcentagem de enraizamento no tempo de avaliação;

$T_{(i)}$ = tempo em i;

Além disso, o tempo ótimo do enraizamento adventício das miniestacas de erva-mate foi determinado quando ocorreu a intersecção entre as curvas do ICD e IMD (FERREIRA et al., 2004).

Para a seleção de clones com base na competência ao enraizamento adventício, as miniestacas foram avaliadas após 60 dias de cultivo em câmara úmida, para porcentagem de sobrevivência e de enraizamento, número e comprimento médio das três maiores raízes. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com número variável de miniestacas por tratamento, variando de 2 a 89 miniestacas por clone, conforme a coleta, totalizando 4858 miniestacas e 38 clones.

A relação e a significância entre os caracteres de enraizamento adventício foram realizadas através da correlação de Pearson (r) a 1 e 5% de significância pelo teste T de Student, no suplemento Action, com o uso de planilha eletrônica. O sinal de “ r ” expressa a intensidade da correlação, sendo representado por um valor entre -1 e 1, (CARGNELUTTI FILHO et al., 2010). Assim, a correlação linear perfeita negativa ($r = -1$) ou positiva ($r = 1$) ou, falta de relação ($r = 0$), sendo o sinal positivo e negativo atribuído para variáveis diretamente e inversamente proporcionais, respectivamente. Além disso, pode-se avaliar quantitativamente a intensidade do “ r ” como: $r = 0$ (ausência de correlação), $0 < r < 0,3$ (correlação fraca); $0,3 \leq r < 0,6$ (correlação regular); $0,6 \leq r < 0,9$ (correlação forte); $0,9 \leq r < 1$ (fortemente correlacionado) e $r = 1$ (correlação perfeita) (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

Para a avaliação dos indivíduos, as médias foram comparadas através do procedimento RELM/BLUP, com ao auxílio do software SELEGEM - RELM/BLUP, apresentado por Resende (2016), os caracteres foram analisados por meio do modelo misto, descrito para o delineamento inteiramente casualizado, um ambiente e um genótipo (clone) por parcela. Para isso, foi utilizado o modelo 63, que apresenta os seguintes parâmetros: $y = X_m + W_p + e$, em que: y é o vetor de dados, m é o vetor dos efeitos de medição (assumidos como fixos) somados à média geral, p é o vetor dos efeitos permanentes de plantas (efeitos genotípicos + efeitos de ambiente permanente) (assumidos como aleatórios) e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

A significância do modelo utilizado foi obtida através da análise de deviance e pelo teste de razão da máxima verossimilhança (LRT). As deviances foram preditas conforme descrito por Resende (2007), utilizando-se o modelo com e sem os respectivos efeitos do genótipo, subtraindo a deviance obtida no modelo completo do modelo sem o efeito e , comparando-a ao valor do qui-quadrado (χ^2) com um grau de liberdade. Além disso, foi realizado a estimativa dos componentes de variância e predição dos valores e ganhos genéticos, considerando os dados médios dos caracteres avaliados para o enraizamento adventício. O ganho de seleção foi calculado entre clones, pela diferença entre a média dos clones selecionados (MS) e média dos clones avaliados (MO).

4.4 AVALIAÇÃO DOS CLONES PARA QUALIDADE DE MUDA DE ERVA-MATE

As miniestacas enraizadas dos diferentes clones foram transferidas para tubetes de 280 cm³ contendo uma mistura de um substrato comercial à base de casca de pinus e solo subsuperficial (2:1 v/v) para avaliar a qualidade morfofisiológica das mudas produzidas. As mudas foram transferidas para a casa de sombra, com cobertura e laterais fechadas com tela sombreadora de 30% e, cobertas por uma tela sombreadora extra de 30% de radiação incidente, durante todo o período de avaliação dos experimentos. Estas foram mantidas com irrigação automatizada durante uma vez ao dia por 10 minutos e de duas vezes ao dia por 15 minutos, nos períodos de maior demanda hídrica.

As mudas foram avaliadas após 30, 60, 90, 120, 150 e 180 dias para a porcentagem de sobrevivência, número de folhas, altura da parte aérea (cm), diâmetro do colo (mm) e relação da altura da parte aérea com diâmetro do colo. Para a seleção de clones foram utilizados os dados de 180 dias, tendo em vista que não foram utilizadas as avaliações destrutivas.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com número variável de mudas por clone, variando de 2 a 24 mudas, conforme a coleta, e totalizando 37 clones para a avaliação morfofisiológica das mudas produzidas por miniestaquia. As médias dos clones foram comparadas através do procedimento RELM/BLUP, com ao auxílio do software SELEGEM - RELM/BLUP, apresentado por Resende (2016).

A relação e a significância entre os caracteres de qualidade de muda foram realizadas através da correlação de Pearson (r) a 1 e 5% de significância pelo teste T de Student, no suplemento Action, com o uso de planilha eletrônica. Assim, a correlação linear perfeita negativa ($r = -1$) ou positiva ($r = 1$) ou, falta de relação ($r = 0$), sendo o sinal positivo e negativo atribuído para variáveis diretamente e inversamente proporcionais, respectivamente. Além disso, pode-se avaliar quantitativamente a intensidade do “ r ” como: $r = 0$ (ausência de correlação), $0 < r < 0,3$ (correlação fraca); $0,3 \leq r < 0,6$ (correlação regular); $0,6 \leq r < 0,9$ (correlação forte); $0,9 \leq r < 1$ (fortemente correlacionado) e $r = 1$ (correlação perfeita) (CALLEGARI-JACQUES, 2003).

Para a avaliação dos indivíduos, os caracteres foram analisados por meio do modelo misto, descrito para o delineamento inteiramente casualizado, um ambiente e

um genótipo (clone) por parcela. Para isso, foi utilizado o modelo 63, que apresenta os seguintes parâmetros: $y = X_m + W_p + e$, em que: y é o vetor de dados, m é o vetor dos efeitos de medição (assumidos como fixos) somados à média geral, p é o vetor dos efeitos permanentes de plantas (efeitos genotípicos + efeitos de ambiente permanente) (assumidos como aleatórios) e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

A significância do modelo utilizado foi obtida através da análise de deviance e pelo teste de razão da máxima verossimilhança (LRT). As deviances foram preditas conforme descrito por Resende (2007), utilizando-se o modelo com e sem os respectivos efeitos do genótipo, subtraindo a deviance obtida no modelo completo do modelo sem o efeito e , comparando-a ao valor do qui-quadrado (χ^2) com um grau de liberdade. Além disso, foi realizado a estimativa dos componentes de variância e predição dos valores e ganhos genéticos, considerando os dados médios dos caracteres avaliados para enraizamento e qualidade de muda. O ganho de seleção para enraizamento e qualidade de muda foi calculado entre clones, pela diferença entre a média dos clones selecionados (MS) e a média dos clones avaliados (MO).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ENRAIZAMENTO ADVENTÍCIO E TEMPO ÓTIMO DE PERMANÊNCIA EM CÂMARA ÚMIDA DE MINIESTACAS DE ERVA-MATE

As miniestacas de erva-mate apresentaram em média raízes de comprimento de $6,92 \pm 3,94$ cm, área de superfície de $1,58 \pm 0,71$ cm², diâmetro médio de $0,99 \pm 0,25$ mm e volume de raiz de $0,03 \pm 0,01$ cm³. As miniestacas coletadas de 21 clones de erva-mate diferiram entre si ($p < 0,05$) para comprimento de raiz, área de superfície e volume de raiz. Porém, não houve diferença estatística ($p > 0,05$) para diâmetro médio das raízes, aos 60 dias de cultivo em câmara úmida. Para os três caracteres de raiz, o teste Skott-Knott separou os clones em dois grupos, sendo que cinco clones apresentaram o maior comprimento e área de superfície de raiz combinados com o maior volume radicial (Tabela 1).

Tabela 1 - Comprimento total das raízes (C), área de superfície de raiz (A), diâmetro médio de raiz (D) e volume radicial (V) de 21 clones de erva-mate (*I. paraguariensis*), aos 60 dias de cultivo em câmara úmida.

Clones	C (cm)	A (cm ²)	D (mm)	V (cm ³)
17SMLZ-19	16,8634 a*	3,0798 a	1,0490 ^{ns}	0,0450 a
17SMLZ-23	12,6555 a	2,8929 a	0,7620	0,0538 a
17SM1-34	9,7305 a	2,1556 a	1,0969	0,0388 a
17SM3-20	8,7980 a	1,7279 a	0,7716	0,0280 b
17SM4-14	11,7294 a	2,7472 a	1,0082	0,0590 a
17SM1-25	7,3936 a	1,6938 a	0,7425	0,0310 b
17SMJS-11	11,2572 a	2,5648 a	0,9931	0,0562 a
17SMJS-48	9,6912 a	1,7799 a	0,9804	0,0297 b
17SMJS-20	6,7333 a	1,2385 b	0,6969	0,0208 b
17SMLZ-41	5,0772 a	1,0322 b	1,0534	0,0198 b
17SM1-27	5,6323 b	1,3004 b	1,0763	0,0288 b
17SM2-44	7,5005 b	1,5144 b	0,9365	0,0288 b
15MA5	4,3830 b	1,1978 b	1,3019	0,0308 b
17SM3-8	3,5824 b	1,1673 b	0,9419	0,0322 b
17SM4-25	6,0403 b	1,2011 b	0,6034	0,0218 b
17SMLZ-27	4 4950 b	1,1989 b	1,4604	0,0276 b
13SMU05	3,0744 b	0,9757 b	0,7718	0,0290 b
17SM2-15	3,4650 b	0,7939 b	1,0634	0,0166 b
17SMLZ-20	2,7389 b	1,1504 b	1,2473	0,0456 a
17SMLZ-38	2,2744 b	0,8258 b	0,8136	0,0256 b
17SMLZ-43	2,1417 b	0,9156 b	1,5769	0,0356 a

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. ns: não significativo.

À proporção que ocorreu aumento do comprimento radicular também houve aumento da área superficial e volume radicial, não obstante, observou-se descréscimo do diâmetro médio das raízes para as miniestacas de erva-mate, aos 60 dias de cultivo em câmara úmida. Resultados semelhantes foram encontrados para Tonetto et al. (2021) em cabreúva (*Myrocarpus frondosus*), aos 60 dias de cultivo em ambiente de enraizamento. Para Oliveira et al. (2006) em *Dipteryx alata* Vog., houve correlações positivas entre comprimento total, volume e número de raízes finas, sugerindo que, se

a seleção for exercitada para qualquer um dos caracteres mencionados, influenciará positivamente os demais. No entanto, houve correlações negativas e significativas ($p < 0,01$) para comprimento total e número de raízes finas com diâmetro médio. Para os autores, estas são características desejáveis, pois raízes finas possuem maior capacidade de absorção de nutrientes e água. Isso é vantajoso para o processo de seleção, pois há possibilidade de se obter ganhos expressivos em uma característica de difícil medição, como o número de raízes finas, mediante uma característica de fácil medição, como o comprimento total.

O comprimento das raízes, a sua distribuição no solo e a profundidade deste, além de dependerem de fatores ambientais como tipo de solo, grau de compactação e de interações entre o ambiente e a planta (FANTE JÚNIOR, 1997; SILVA et al., 2007), dependem de características intrínsecas da planta, ou seja, do seu genótipo (MELLO, 1997; SILVA et al., 2007). Dessa forma, a distribuição do sistema radicular e da variação dos caracteres entre os genótipos, expressam a sua qualidade e são essenciais para a escolha do material genético capaz de propiciar maior crescimento e desenvolvimento da planta em condições de campo e, por conseguinte, em maior produtividade (OLIVEIRA et al., 2006). Assim, a caracterização da distribuição do sistema radicular e o conhecimento das diferenças genéticas dos caracteres que expressam a sua qualidade são de suma importância para a escolha do melhor material genético. Portanto, foi possível observar que existem variações genéticas entre os clones de erva-mate, no que tange ao potencial de enraizamento adventício. Dessa forma, os clones 17SMLZ-19, 17SMLZ-23, 17SMJS-11, 17SM4-14 e 17SM1-34 apresentaram as melhores respostas para o enraizamento adventício, conforme os caracteres estudados.

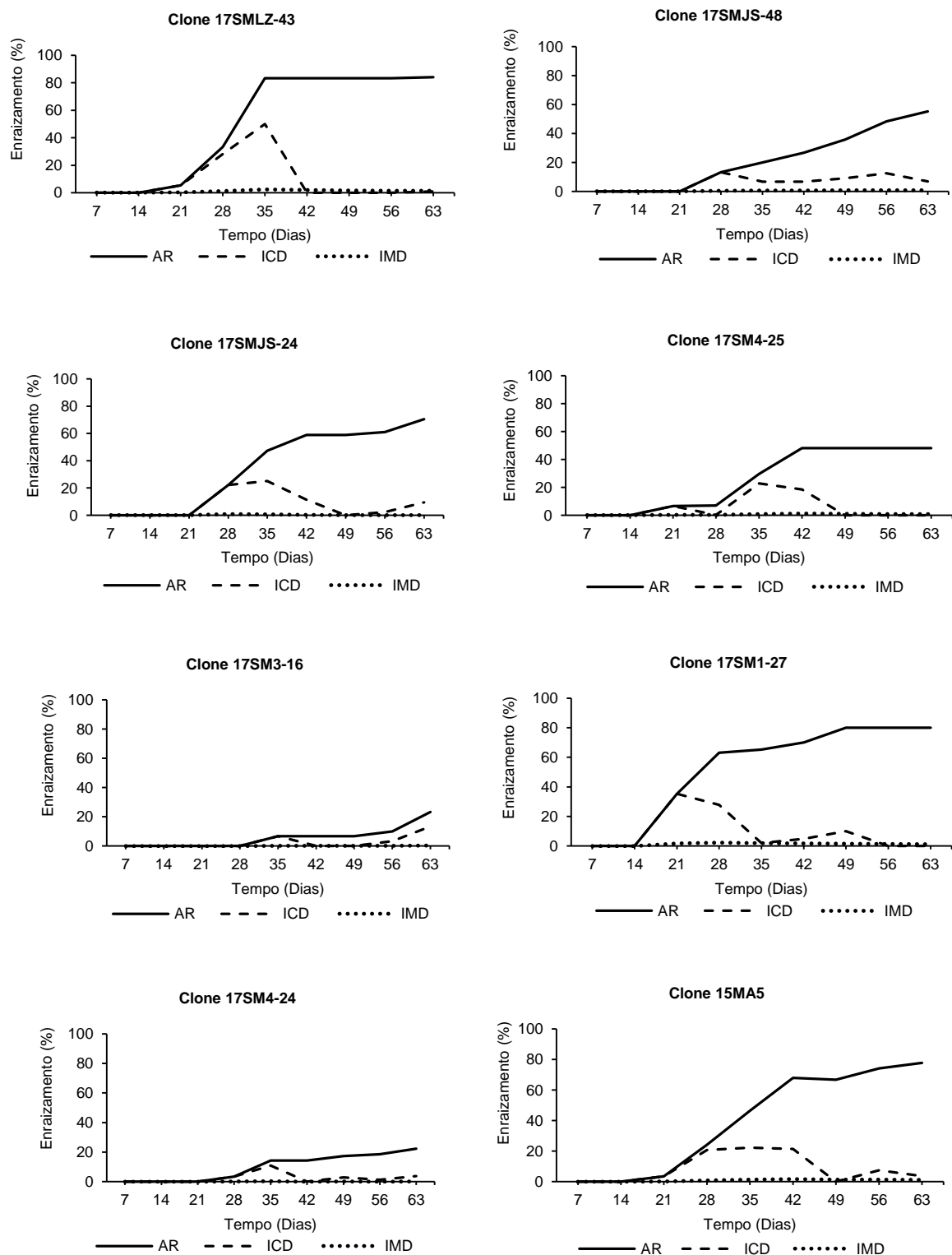
As curvas de incremento corrente diário (ICD) e médio diário (IMD) para porcentagem de enraizamento mostram que os clones de erva-mate diferem entre si nos tempos de permanência em câmara úmida (Figura 4). Isso fez com que o tempo ótimo para permanência das miniestacas variasse entre os clones, de 28 dias (clone 17SM4-25), 35 dias (clone 17SM1-27), 42 dias (clones 17SMLZ-43, 17SM3-16 e 17SM4-24) e 49 dias (clones 17SMJS-24 e 15MA5). Para o clone 17SMJS-48 não ocorreu a estabilização da porcentagem de enraizamento até os 63 dias em ambiente de enraizamento, sendo necessário maior tempo de permanência em câmara úmida para o satisfatório enraizamento das miniestacas.

Os clones de erva-mate também diferiram para a taxa de enraizamento acumulado. Após 63 dias de cultivo, os clones 17SMLZ-43 e 17SM1-27 apresentaram 84,2% e 80,0% de porcentagem de enraizamento acumulado em comparação com 22,2% e 23,3% para os clones 17SM4-24 e 17SM3-16. O incremento corrente diário máximo ocorreu aos 35 dias para o clone 17SMLZ-43 (50%) e aos 21 dias para o clone 17SM1-27 (35,29%). Em contrapartida, os clones 17SMLZ-43 e 17SM1-27 apresentaram menor área superficial combinado com volume radicial, conforme apresentado na tabela 1. Dessa forma, a intersecção entre as curvas de ICD e IMD determinam o tempo ideal de permanência das miniestacas em câmara úmida (FERREIRA et al, 2004), devendo estas serem removidas do ambiente de enraizamento para evitar a incidência de doenças. Cabe ressaltar que durante a avaliação dos experimentos, não foi verificada incidência de doenças nas miniestacas de erva-mate.

A determinação do tempo ótimo de enraizamento das miniestacas permite identificar a velocidade do processo rizogênico e evitar a permanência destas além do tempo necessário em câmara úmida, a fim de otimizar as estruturas de propagação (MELO et al. 2011). Dessa forma, a determinação do período ótimo de enraizamento de diferentes clones a serem propagados em viveiro pode minimizar os custos e a morte das miniestacas devido a retirada destas antes do processo rizogênico se completar (MELO et al., 2011).

Neste sentido, faz-se necessário determinar a velocidade do processo rizogênico característico para cada espécie e, assim, contribuir para o sucesso na produção de mudas. Para Assis e Teixeira (1999), existe grande variação entre as espécies e clones em relação a maior ou menor herdabilidade natural em formar raízes. Segundo Burin et al. (2018b), é necessário realizar coletas sucessivas em diferentes sazonalidades, com suas variações ambientais, para que a seleção seja eficiente para uma produção massal de mudas ao longo do ano. Neste estudo, o tempo de permanência em ambiente de enraizamento para os clones de erva-mate foi realizado no período de verão, devido ao maior crescimento e produção de material vegetativo.

Figura 4 - Porcentagem de enraizamento de oito clones de erva-mate em função do tempo de permanência em câmara úmida. ICD: Incremento corrente diário. IMD: Incremento médio diário. AR: Porcentagem de enraizamento acumulado.

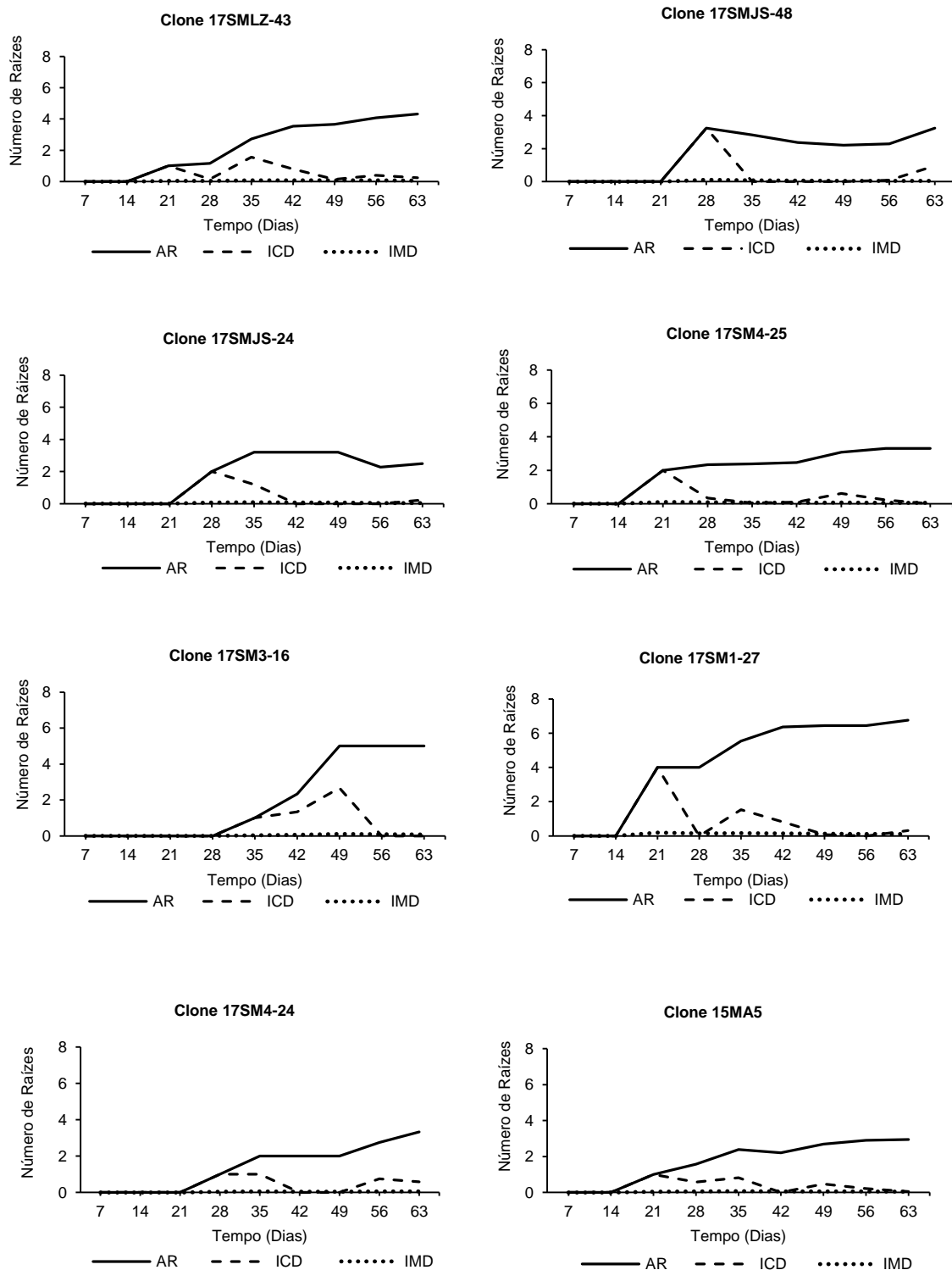


Ferreira et al. (2004) constataram diferenças na velocidade de enraizamento de propágulos de dois clones de eucalipto, indicando que o tempo de permanência em câmara úmida influencia diretamente o percentual de enraizamento e, posteriormente, a sobrevivência destas em casa de sombra. Resultados semelhantes foram observados por Santos et al. (2011) em espécies, como *Casearia silvestris*, *Cestrum laevigatum*, *Ficus adathodigifolia*, *Guazuma ulmifolia*, *Salix humboldtiana* e *Sebastiania scottiana*, como também, para *Ilex paraguariensis* (PIMENTEL, 2016) e *Erythrina crista-galli* (BISOGNIN et al., 2021).

Em se tratando do tempo ótimo de enraizamento para número de raízes, esta seguiu o mesmo padrão que para porcentagem de enraizamento. A intersecção entre as curvas de ICD e IMD para número de raízes ocorreu em diferentes tempos de permanência em câmara úmida e esta apresentou diferenças entre os clones avaliados. Para os clones 17SMLZ-43, 17SM4-25 e 17SM1-27 a intersecção entre as curvas ocorreu aos 28 dias de cultivo, 35 dias para o clone 17SMJS-48, 42 dias para os clones 17SMJS-24 17SM4-24 e 15MA5 e, 56 dias para o clone 17SM3-16. Os clones de erva-mate também diferiram para ICD, IMD e número de raízes acumulado. Após 63 dias de cultivo em câmara úmida, o clone 17SM1-27 e o clone 17SM3-16 apresentaram 6,75 e 5,00 raízes acumuladas em comparação com 2,50 e 2,95 raízes para os clones 17SMJS-24 e 15MA5. O incremento corrente diário máximo para número de raízes ocorreu aos 21 dias de cultivo para o clone 17SM1-27 (4 raízes) e aos 28 dias para o clone 17SMJS-48 (3,25 raízes) (Figura 5).

Para Lajús et al. (2007), um bom desenvolvimento radicial pode ser verificado por meio do número e comprimento de raízes nas miniestacas. A avaliação do número e comprimento de raízes é de extrema importância para o crescimento e desenvolvimento das miniestacas, após o processo de rizogênese. Essas refletem em maiores taxas de absorção de nutrientes e água, garantindo a sobrevivência e crescimento das mudas (FREITAS et al., 2005). Nesse sentido, as raízes estão intimamente relacionadas ao complexo solo-ambiente-água-plantas (CARNEIRO, 1995). Entretanto, um sistema radicial pouco desenvolvido limita o crescimento e o desenvolvimento das mudas de várias espécies, em virtude da redução da área foliar, altura e produção de biomassa (REIS et al., 1989; TOWNEND; DICKINSON, 1995; CAMPOSTRINI, 1997; FREITAS et al., 2005).

Figura 5 - Número de raízes de oito clones de erva-mate em função do tempo de permanência em câmara úmida. ICD: Incremento corrente diário. IMD: Incremento médio diário. AR: Número de raízes acumulado.

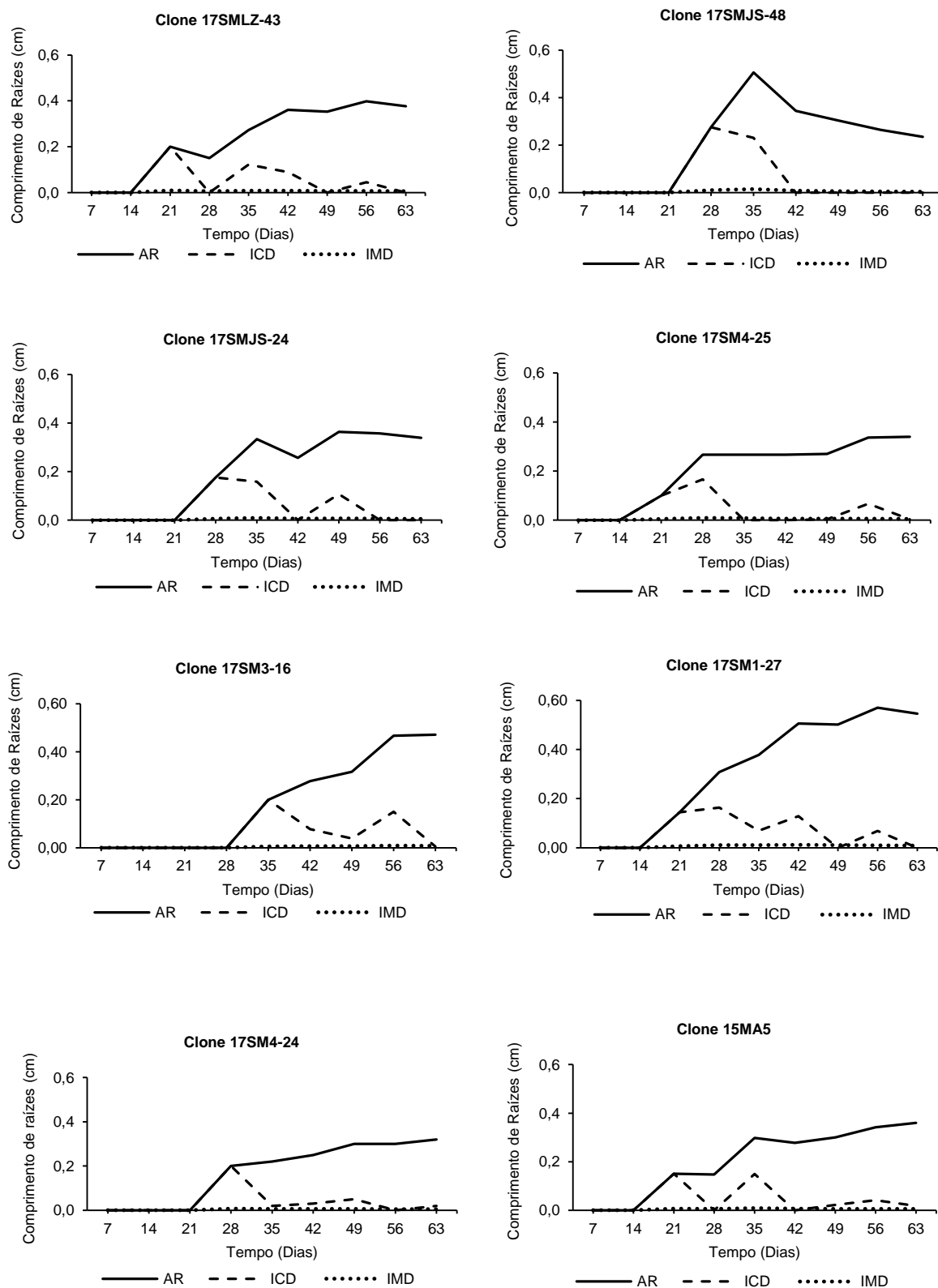


Além disso, segundo Freitas et al. (2005), a restrição do sistema radicial pode retardar o crescimento das mudas à campo, ocasionando maiores custos para o controle de plantas daninhas e, por conseguinte, perda de produtividade. Mudas que apresentam maior número de raízes são mais resistentes à estresses ambientais e permitem maiores taxas de sobrevivência à campo. Em condições naturais, o estresse ambiental pode ocorrer pela redução da disponibilidade de nutrientes e pela compactação do solo e, assim, o desenvolvimento do sistema radicial é um fator importante para a aquisição de recursos necessários para seu desenvolvimento (LYNCH; HO, 2005).

Além disso, as características do sistema radicial são critérios empregados para determinar a qualidade da muda, visto que o seu crescimento e estabelecimento das mudas estão fortemente ligados (GROSSNICKLE, 2005). As raízes são importantes para ancoramento e sustentação da árvore (FREITAS et al., 2008) e quanto maior o enraizamento de uma planta, maior será a sua capacidade de explorar o solo e aproveitar os recursos disponíveis (MEDINA et al., 2002). Segundo Floss (2004), quanto maior o desenvolvimento das raízes, maior será a superfície de contato com o solo e, por conseguinte, maior será o desenvolvimento da muda. Nesse contexto, é necessário conhecer os fatores que afetam o desenvolvimento das raízes para o sucesso da produção de mudas (CUNHA et al., 2009).

Para comprimento de raízes, a intersecção entre as curvas de ICD e IMD ocorreu aos 28 dias para os clones 17SMLZ-43 e 15MA5, 35 dias para o clone 17SM4-25, 42 dias para os clones 17SMJS-48 e 17SMJS-24, 49 dias para o clone 17SM1-27, 56 dias para o clone 17SM4-24 e 63 dias para o clone 17SM3-16. Após 56 dias de cultivo em câmara úmida, os clones 17SM1-27 e 17SM3-16 apresentaram 0,57 e 0,47 cm de raízes acumulado em comparação com 0,26 e 0,30 para os clones 17SMJS-48 e 17SM4-24. O incremento corrente diário máximo para comprimento de raízes ocorreu aos 28 dias para o clone 17SMJS-48 (0,28 cm) e aos 35 dias para o clone 17SM3-16 (0,20 cm) (Figura 6).

Figura 6 - Comprimento de raízes (cm) de oito clones de erva-mate em função do tempo de permanência em câmara úmida. ICD: Incremento corrente diário. IMD: Incremento médio diário. AR: Comprimento de raízes acumulado.

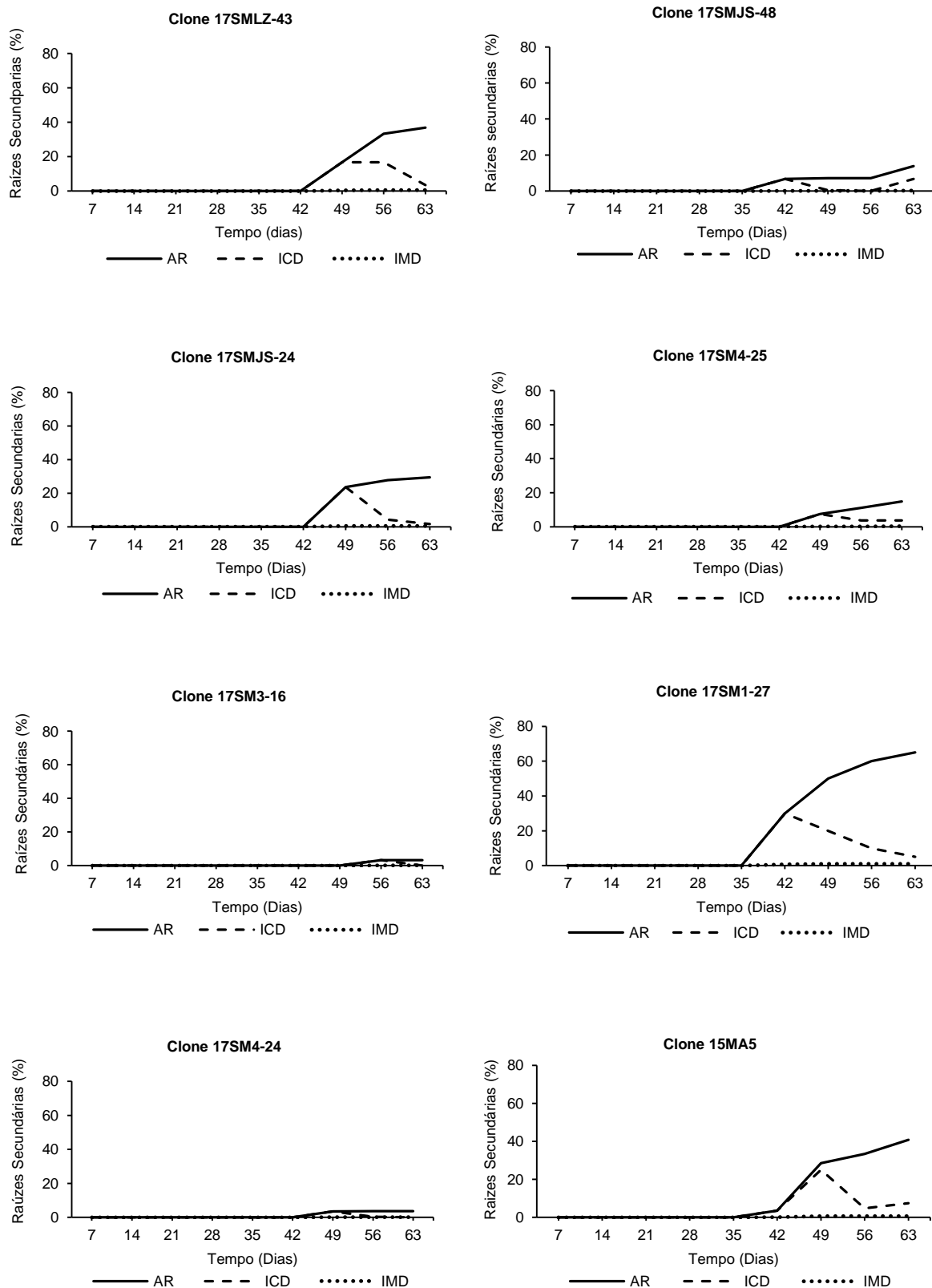


Em relação à porcentagem de raízes secundárias, a intersecção entre as curvas de ICD e IMD ocorreu aos 49 dias para o clone 17SMJS-48 e 63 dias para os clones 17SM3-16 e 17SM4-24. Entretanto, para os demais clones avaliados não ocorreu a estabilização da porcentagem de raízes secundárias até os 63 dias de cultivo, sendo necessário maior tempo de permanência em câmara úmida para o satisfatório enraizamento das miniestacas. Além disso, os clones também diferiram para ICD, IMD e porcentagem de raízes secundárias acumulado. Após 63 dias de cultivo, os clones 17SM1-27 e 15MA5 apresentaram as maiores porcentagens de raízes secundárias (65,00 e 40,74%, respectivamente) em comparação com 3,33 e 13,79% para os clones 17SM3-16 e 17SMJS-48. Além disso, o incremento corrente diário máximo para porcentagem de raízes secundárias, ocorreu aos 42 dias de cultivo para o clone 17SM1-27 e aos 49 dias para o clone 15MA5 (30 e 25%, respectivamente) (Figura 7).

Conforme Navroski et al. (2010) as raízes finas das plantas constituem um dos principais meios para acessar os recursos do solo e, a compreensão do funcionamento, distribuição e quantidade de raízes é fundamental para o entendimento total dos processos fisiológicos de uma planta. A quantidade de raízes finas obtidas pode ser genética e está relacionada com o estado nutricional, potencial produtivo e capacidade de adaptação da planta. Conforme Gonçalves e Mello (2000), as raízes finas (diâmetro < 2,00 mm) constituem menos de 1% da biomassa das florestas e a produção anual dessas raízes podem contribuir com mais de 50% da produção primária líquida total das plantações.

A quantidade de raízes finas emitidas pode diferir entre as espécies, conforme verificado por Harmand et al. (2004) em *Acacia polyacantha* Willd, *Senna siamea* (Lamarck) H.S. Irwin & Barneby e *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Nesse trabalho, foi verificado diferenças significativas na quantidade de raízes emitidas, havendo maior produção em *S. siamea* (Lamarck) H.S. Irwin & Barneby, seguida de *A. polyacantha* Willd e *E. camaldulensis* Dehnh. Assim, a maneira como ocorre o desenvolvimento das raízes tem grande influência sobre crescimento e desenvolvimento das plantas. O crescimento radicular determina o volume de solo ocupado pelas raízes e sua capacidade de exploração, assim como, a resistência por espécies concorrentes (GONÇALVES; MELLO, 2005).

Figura 7 - Porcentagem de raízes secundárias de oito clones de erva-mate em função do tempo de permanência em câmara úmida. ICD: Incremento corrente diário. IMD: Incremento médio diário. AR: Porcentagem de raízes secundárias acumulado.



O principal fator envolvido na distribuição das raízes no solo é o genótipo, entretanto, a formação das raízes pode ser influenciada por outros fatores, como fertilidade do solo, densidade e textura, disponibilidade de oxigênio, pH, temperatura e pelas situações nas quais a espécie se desenvolve, como competição interespecífica (GONÇALVES; MELLO, 2005). Cada espécie arbórea apresenta um formato de sistema radicular, que dependem de características genéticas e do substrato onde as raízes irão se desenvolver. A arquitetura radicular poderá mudar ao longo do tempo, em função da idade ou fase de desenvolvimento das plantas, das condições edafoclimáticas locais e das práticas de cultivo utilizadas (ATKINSON, 1983; LOPES, 2009). A alta taxa de renovação de raízes finas consiste em um processo de adaptação das plantas. Os fatores que determinam o desenvolvimento do sistema radicular são complexos e envolvem condições ambientais, tanto da parte aérea como do solo e, principalmente, do genótipo. Neste contexto, em solos que apresentam baixa disponibilidade de água e nutrientes, as plantas tendem a produzir raízes mais longas e, em menor período de tempo, explorando maior volume de solo (GONÇALVES; MELLO, 2005). Conforme Moreau (2007), as plantas tendem a investir no desenvolvimento de raízes finas em solos que possuem limitação na disponibilidade de nutrientes.

Nos programas de melhoramento genético de espécies florestais, o tempo é um fator limitante, pois a exploração envolve ciclos longos, demorados e onerosos. Neste sentido, alternativas que visam a diminuição do tempo visando a seleção de genótipos superiores nos primeiros anos de produção são necessárias e vantajosas. Uma das alternativas é a utilização da seleção precoce (MASSARO et al., 2010), que visa identificar características de interesse econômico na fase juvenil, diminuindo assim, o tempo necessário para completar um ciclo de seleção (GONÇALVES et al., 1998; BELTRAME et al., 2012). Em trabalhos com *Eucalyptus* no Brasil, a seleção precoce para vigor de crescimento tem se mostrado eficiente (REZENDE et al., 1994; PEREIRA et al., 1997; TOLFO, 2003; BELTRAME et al., 2012). Para a erva-mate, Pimentel et al. (2019) observou que o enraizamento das miniestacas foi influenciado tanto pelo genótipo quanto pela sazonalidade, sendo que os propágulos vegetativos coletados no outono e inverno possibilitaram resultados superiores para o enraizamento adventício de miniestacas.

Embora, espera-se que os efeitos da sazonalidade sejam minimizados pelas condições ambientais controladas na miniestaquia, respostas diferentes para

enraizamento podem ser observadas, principalmente, devido a variação entre genótipos (BORGES et al., 2011). Para a produção massal de mudas, é desejado materiais genéticos que proporcionam altas taxas de multiplicação durante todo o ano, e assim, torna-se necessário estudos e a identificação dos melhores clones e, que estes respondam de forma satisfatória às condições ambientais disponíveis, permitindo o uso promissor da técnica da miniestaquia (PIMENTEL et al., 2019).

Além disso, cabe destacar que o enraizamento adventício é influenciado por diversos fatores, destacando-se as condições fisiológicas da planta matriz, época e a posição de coleta, o grau de maturação das miniestacas, presença de gemas e folhas e, os fatores ambientais (HARTMANN et al., 2011). Contudo, o potencial de enraizamento das miniestacas varia conforme as características e exigências de cada espécie e genótipo, sendo de suma importância identificá-las para o sucesso do processo produtivo e a produção de mudas.

Portanto, a formação de raízes e o tempo ótimo de permanência das miniestacas de erva-mate em câmara úmida para porcentagem de enraizamento, número de raízes, comprimento médio das três maiores raízes e porcentagem de raízes secundárias, apresentou variação conforme o clone. Segundo o critério de intercepto das curvas de ICD e IMD, o tempo ótimo de permanência das miniestacas em ambiente de enraizamento variou, de forma geral, de 28 a 63 dias de cultivo para os caracteres avaliados. Até os 63 dias de cultivo, os clones 17SMLZ-43 e 17SM1-27 apresentaram resultados superiores para porcentagem de enraizamento (84,21 e 80%, respectivamente), os clones 17SM1-27 e 17SM3-16 para número de raízes (6,75 e 5,00 raízes, respectivamente), 17SM1-27 e 17SM3-16 para comprimento de raízes (0,57 e 0,47 cm, respectivamente) e 17SM1-27 e 15MA5 para porcentagem de raízes secundárias acumulado (65,00 e 40,74%, respectivamente). Dessa forma, os clones que apresentaram melhor desenvolvimento em ambiente de enraizamento para os caracteres avaliados foram 17SM1-27, 17SM3-16, 17SMLZ-43 e 15MA5.

A análise de correlação linear mostrou que os caracteres de enraizamento adventício, como porcentagem de sobrevivência e de enraizamento, número e comprimento médio das três maiores raízes, estão correlacionados entre si (Tabela 2).

Tabela 2 - Correlação de Pearson para porcentagem de sobrevivência (SOB) e enraizamento (ENR), número de raízes (NR) e comprimento médios das três maiores raízes (C3MR), de cinquenta clones de erva-mate (*Ilex paraguariensis*), em quatro coletas consecutivas.

Caracteres	%SOB	%ENR	NR
%ENR	0,4456**		
NR	0,1081 ^{ns}	0,5117**	
C3MR	-0,0313 ^{ns}	0,2545**	0,4855**

**Significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste T de Student. ns: não significativo.

No melhoramento de plantas, as correlações são utilizadas para auxiliar a seleção envolvendo duas características simultâneas, ou seja, a seleção em um pode ter reflexo positivo ou negativo em outro. Em reflexos positivos, os ganhos são obtidos diretamente na característica selecionada e ganhos indiretos são obtidos na característica correlacionada. Entretanto, para que isso aconteça, é necessário que a correlação entre os caracteres seja de alta magnitude (GODOY; ROSADO, 2011). A partir desta correlação, um material genético pode ser obtido com capacidade de reunir simultaneamente várias características favoráveis (CRUZ; REGAZZI, 1994).

Neste trabalho verificou-se que a porcentagem de enraizamento, o número e comprimento médio das três maiores raízes são dependentes entre si, já que foram observadas correlações positivas entre as mesmas. Estes resultados sugerem que, quanto maior a porcentagem de enraizamento, maior será o número e comprimento médio das três maiores raízes. Ou seja, ao selecionar clones com elevado número de raízes, os mesmos também apresentarão maior comprimento médio das três maiores raízes. Resultados semelhantes foram observados para a erva-mate (GAZZANA, 2019) e canjerana (BURIN et al., 2018a), na qual foram observadas correlações positivas para enraizamento, número e comprimento médio das três maiores raízes.

Os caracteres ligados ao sistema radicial mostram a importância destas para a sobrevivência e desenvolvimento à campo. Dessa forma, o sistema radicular é um carácter muito importante a ser considerado na qualidade de mudas florestais (MAYE; PERES; TAMBARUSSI, 2018). Um desenvolvimento radicular adequado, pode ser verificado por meio do número e comprimento de raízes nas miniestacas. Estas além de refletirem sobre uma área maior de absorção de recursos disponíveis, também aumentam a resistência das plantas ao estresse ambiental, garantindo maiores taxas de crescimento e sobrevivência das mudas após o plantio (FREITAS et al., 2005).

Ademais, a análise de deviance demonstrou que, para os cinquenta clones de erva-mate avaliados para competência ao enraizamento adventício, o efeito do genótipo foi significativo para os caracteres de porcentagem de enraizamento e número de raízes. Porém, não houve diferença estatística para porcentagem de sobrevivência e comprimento médio das três maiores raízes (Tabela 4). Dessa forma, é possível verificar que há variabilidade genética entre os cinquenta clones de erva-mate avaliados para estes caracteres.

Tabela 3 - Valores de deviance para os caracteres associados ao enraizamento adventício dos clones avaliados de erva-mate (*I. paraguariensis*).

Efeitos	%SOB	%ENR	NR	C3MR
Permanente de planta	1015,34	1085,30	256,35	14,76
Modelo completo	1013,36	1062,82	251,34	14,70
LRT ¹	1,98 ^{ns}	22,48 ^{**}	5,01 [*]	0,06 ^{ns}

¹ Teste de razão da máxima verossimilhança. *Significativo a 5% e **1% de probabilidade de erro, pelo teste χ^2 com um grau de liberdade. ns = não significativo.

A deviance é um critério utilizado para verificar a significância dos efeitos dos caracteres dentro de cada modelo, pelo uso das diferentes estruturas nas respectivas equações. Se o valor for significativo, há diferença entre os modelos testados e há variabilidade (MIQUELONI, 2018). Quando o modelo completo executa exatamente os dados fenotípicos, a diferença entre os dois modelos ajustados pode ser testada pela razão da máxima verossimilhança ou LRT (RESENDE et al., 2016). Dessa forma, o LRT revelou que os efeitos genotípicos e os efeitos ambientais permanentes foram significativos, sugerindo que o modelo completo é o melhor para se ajustar aos dados. Neste contexto, verifica-se pelo LRT que há variabilidade genética entre os clones de erva-mate avaliados, indicando a possibilidade de obter ganhos de seleção para os caracteres quanto porcentagem de enraizamento e número de raízes. Além disso, como a porcentagem de enraizamento, número de raízes e comprimento médio das três maiores raízes estão correlacionados de forma positiva, isso poderá resultar em ganhos indiretos de seleção para o comprimento das três maiores raízes. Estes resultados estão de acordo com Burin et al. (2018b), na qual a propagação vegetativa para a seleção de clones de canjerana promoveu maior ganho de seleção para o

número de miniestacas enraizadas (79,1%), seguido da percentagem de enraizamento (61,0%). Conforme Melo et al. (2011), em clones de *Eucalyptus grandis* foram observadas diferenças para percentagem de enraizamento, número e comprimento de raízes. Para a erva-mate também foram verificados resultados semelhantes, como observado por Gazzana et al. (2020) e por Pimentel et al. (2019), que pode ter relação direta com a variabilidade genética entre os clones avaliados.

Na tabela 5 são apresentados os parâmetros genéticos para percentagem de enraizamento e número de raízes, que tiveram efeitos significativos entre os clones de erva-mate avaliados.

Tabela 4 - Componentes de variância e parâmetros genéticos associados ao enraizamento adventício que tiveram efeito significativo para os clones avaliados de erva-mate (*I. paraguariensis*).

Componente/parâmetro ¹	%ENR	NR
Vpp	183,853734	0,346251
Vte	326,354268	1,722676
Vp	510,208002	2,068927
r = h ²	0,360351+-0,1377	0,167358+-0,0964
Rm	0,692632	0,445671
Acm	0,832245	0,667586
Média geral	40,291842	3,728616

¹Vpp: variância fenotípica permanente entre plantas; Vte: variância temporária do ambiente; Vp: variância fenotípica individual; r = h²: repetibilidade individual e seu intervalo de confiança; Rm: repetibilidade da média de m colheitas ou m medidas repetidas m=2; Acm: acurácia da seleção baseada na média de m colheitas ou medidas repetidas.

As estimativas dos parâmetros genéticos mostraram que para número de raízes, a variação fenotípica individual (Vp) correspondeu à variação fenotípica do ambiente (Vte), e assim, é altamente influenciada pelo ambiente. Este resultado sugere que existe variabilidade genética entre os clones de erva-mate avaliados, corroborando com a análise de deviance. Para percentagem de enraizamento, a variância fenotípica individual apresentou resultado superior à variância temporária do ambiente, indicando que o enraizamento, assim como, para número de raízes, está associado ao genótipo. Dessa forma, estes resultados indicam que existe possibilidade de obter ganhos genéticos ao selecionar clones com maior percentagem de enraizamento e número de raízes.

O coeficiente de repetibilidade individual exibiu valores de 0,3603 e 0,1674, para porcentagem de enraizamento e número de raízes, que indica a herdabilidade desses caracteres considerando os clones avaliados. Estes resultados foram de baixa magnitude para número de raízes e moderada para porcentagem de enraizamento. Consequentemente, de baixa/moderada regularidade na repetição de uma coleta para outra. De acordo Resende (2002), as estimativas do coeficiente de repetibilidade, de maneira geral, são consideradas altas ($r \geq 0,60$), moderado ($0,30 < r < 0,60$) e baixo ($r \leq 0,30$). Este coeficiente indica a correlação entre as medidas de determinado carácter em um mesmo indivíduo, cujas avaliações são repetidas no espaço e no tempo e, expressa as variações proporcionadas pelo genótipo e pelas permanentes atribuídas pelo ambiente comum (CRUZ; REGAZZI, 1994). Dessa forma, através do coeficiente de repetibilidade individual, será possível prognosticar a capacidade que os genótipos possuem para o enraizamento adventício, pela repetição de um determinado carácter. Assim, neste estudo, é possível identificar dificuldades para o melhorista em selecionar os melhores clones para porcentagem de enraizamento e número de raízes para a erva-mate, devido à repetibilidade. Neste sentido, seria importante estimar quantas observações fenotípicas devem ser realizadas para que haja uma seleção eficiente (FARIAS NETO et al., 2004) e de qualidade.

A acurácia seletiva (Acm) expressa a correlação entre valores preditos e verdadeiros dos indivíduos (PIMENTEL et al., 2014) e é diretamente proporcional à repetibilidade (BRUNA et al, 2012) e herdabilidade (RESENDE; DUARTE, 2007) do caractere avaliado. Assim, no presente estudo, os valores de acurácia foram de 0,83 para porcentagem de enraizamento e de 0,66 para número de raízes, sendo classificadas como alta e moderada (RESENDE; DUARTE, 2007). Uma acurácia igual ou superior a 90% indica precisão experimental muito alta (RESENDE; DUARTE, 2007). Os valores adequados de acurácia são próximos a 100% e quanto mais próximo deste, maior será a precisão experimental (RESENDE, 2002). Nesse sentido, a acurácia reflete diretamente na qualidade e confiança das informações e, dos procedimentos utilizados na predição dos valores genéticos (PIMENTEL et al, 2014).

5.2 QUALIDADE DE MUDA DE MINIESTACAS DE ERVA-MATE

Em relação aos caracteres referentes à qualidade de muda, observou-se que houve correlação significativa aos 180 dias de cultivo (Tabela 3), exceto para

porcentagem de sobrevivência com altura da parte aérea, diâmetro do colo, número de folhas e com a relação da altura da parte aérea com diâmetro do colo, como também para a relação entre a altura da parte aérea e diâmetro do colo com o diâmetro do colo. O número de folhas apresentou alta correlação com a altura da parte aérea e também da sua relação com o diâmetro do colo.

Tabela 5 - Correlação de Pearson para porcentagem de sobrevivência (%SOB), altura da parte aérea (HPA), diâmetro do colo (DC), número de folhas (NF) e da relação com altura da parte aérea e diâmetro do colo (HPA/DC), de cinquenta clones de erva-mate (*I. paraguariensis*), em duas coletas consecutivas.

Caráter	%SOB	HPA	DC	NF
HPA	0,0693 ^{ns}			
DC	0,0619 ^{ns}	0,4225**		
NF	0,1114 ^{ns}	0,7935*	0,3475**	
HPA/DC	0,0596 ^{ns}	0,8974*	0,0164 ^{ns}	0,7321**

*Significativo a 5% e ** 1% de probabilidade de erro pelo teste T de Student. ns: não significativo.

Observou-se que através da correlação de Pearson, a altura da parte aérea apresentou correlação positiva com diâmetro do colo, número de folhas e, com relação de altura da parte aérea com diâmetro do colo. Dessa forma, quanto maior a altura da parte aérea, maior poderá ser o diâmetro do colo, número de folhas e a relação da altura da parte aérea com diâmetro do colo. Assim, ao selecionar clones com maior altura, podem ser selecionados clones com valores superiores para estas características. Resultados semelhantes foram encontrados para *Eucalyptus grandis* (ELOY et al., 2013) e para *Euterpe edulis* (SILVA et al., 2009), no qual foram observadas correlações positivas entre esses caracteres.

A altura da parte aérea é um carácter muito utilizado para a classificação e seleção de mudas de qualidade em viveiro (GOMES, 1978; GOMES et al., 2002), sendo considerada uma das características mais importantes para estimar o crescimento das mudas no campo e tecnicamente aceita como uma boa medida para avaliar o potencial de desempenho das mudas (MEXAL; LANDIS, 1990; GOMES et al., 2002). Visto que, mudas mais altas possuem vantagem de competição com plantas infestantes e incide em maior qualidade genética (HAASE, 2008). Este carácter combinado com diâmetro do colo, são parâmetros morfológicos importantes para estimar o desenvolvimento das mudas logo após o plantio (CARNEIRO, 1995),

além de serem facilmente medidos à campo (TSAKALDIMI et al., 2013). Além disso, a relação da altura da parte aérea com diâmetro do colo expressa o equilíbrio de crescimento, o qual fornece informações de quanto estiolada está a muda (JOHNSON; CLINE, 1991; GOMES et al., 2002). A relação da altura da parte aérea com diâmetro do colo possibilita comparar a resistência das mudas (valores baixos), em oposição com não resistência (valores altos) (RITCHIE et al., 2010).

Esses parâmetros são fortemente influenciados pelas técnicas de produção, fertilidade do substrato e volume disponível para crescimento de cada espécie (REIS et al., 2008). Nesse sentido, o desenvolvimento de uma muda é determinado em função da condução adotada no viveiro (LOPES, 2004). Dessa forma, o viveirista precisa utilizar insumos adequados para o crescimento das mudas com qualidade. Uma muda de qualidade e susceptível ao plantio deve ter altura entre 15 e 30 cm (GOMES; PAIVA, 2011), diâmetro do colo entre 5 e 10 mm (GONÇALVES et al., 2005) e relação da altura com o diâmetro inferior a 10 cm mm⁻¹ (BIRCHLER et al., 1998). Além disso, conforme Godoy e Rosado (2011), uma das maiores preocupações da silvicultura é levar mudas saudáveis e vigorosas para o campo, pois terão que sobreviver, desenvolver e crescer sob condições bióticas e abióticas, como também, em condições de estresse. Desse modo, é necessário conduzir programas de melhoramento genético visando a seleção de clones, que na fase de viveiro, irá apresentar mudas com traços de qualidade e ajudar a alcançar o sucesso almejado nas condições de campo.

Para os caracteres associados à qualidade de muda, a análise de deviance demonstrou que, para os cinquenta clones de erva-mate avaliados, o efeito do genótipo foi significativo apenas para número de folhas, não sendo significativo para a porcentagem de sobrevivência, altura da parte aérea, diâmetro do colo e relação com altura da parte aérea com diâmetro do colo (Tabela 6). Neste sentido, é possível verificar que existe variabilidade genética entre os clones de erva-mate avaliados somente para número de folhas.

Tabela 6 - Valores de deviance para os caracteres associados à qualidade de muda dos clones avaliados de erva-mate (*I. paraguariensis*).

Efeitos	%SOB	HPA	DC	NF	HPA/DC
Permanente de planta	243,01	265,31	-0,45	176,95	93,42
Modelo completo	243	264,66	-0,52	173,06	93,41
LRT ¹	0,01 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,07 ^{ns}	3,89*	0,01 ^{ns}

¹ Teste de razão da máxima verossimilhança. Significativo a *5% de probabilidade de erro, pelo teste χ^2 com um grau de liberdade. ns = não significativo.

Os valores do teste de razão de verossimilhança (LRT) indicaram que, para o número de folhas, os efeitos genotípicos e ambientais foram significativos, sugerindo que o modelo completo é o mais adequado para o ajuste dos dados em comparação com o modelo reduzido. Segundo Sánchez et al. (2017), este tipo de modelo é o mais apropriado para a estimação genética. Dessa forma, é possível verificar que há variabilidade genética entre os clones de erva-mate e pode-se obter ganhos de seleção para número de folhas. Além disso, como a altura da parte aérea, o diâmetro do colo, a relação da altura com o diâmetro do colo e o número de folhas estão correlacionados de forma significativa e positiva, isso indica que serão obtidos ganhos indiretos de seleção entre estes caracteres para os clones de erva-mate.

Na tabela 7 são apresentados os parâmetros genéticos para número de folhas, que tiveram efeitos significativos entre os cinquenta clones de erva-mate avaliados, aos 180 dias de cultivo.

Tabela 7 - Componentes de variância e parâmetros genéticos associados à qualidade de muda que tiveram efeito significativo para os clones avaliados de erva-mate (*I. paraguariensis*).

Componente/parâmetro	NF
Vpp	1,092987
Vte	2,862907
Vp	3,955893
$r = h^2$	0,276293+-0,1740
Rm	0,432962
Acm	0,657999
Média geral	6,814597

¹Vpp: variância fenotípica permanente entre plantas; Vte: variância temporária do ambiente; Vp: variância fenotípica individual; $r = h^2$: repetibilidade individual e seu intervalo de confiança; Rm: repetibilidade da média de m colheitas ou m medidas repetidas m=2; Acm: acurácia da seleção baseada na média de m colheitas ou medidas repetidas.

As estimativas dos parâmetros genéticos indicaram que grande parte da variação fenotípica individual (V_p) correspondeu a variação permanente do ambiente (V_{te}) e dessa forma, é altamente influenciado pelo ambiente. Estes resultados mostram que, existe variabilidade genética entre os cinquenta clones de erva-mate avaliados, como verificado pela análise de deviance. Portanto, há possibilidade de obter ganhos genéticos ao selecionar clones para qualidade de muda em relação ao número de folhas. De acordo com Sturion e Resende (2005) o principal caractere a ser considerado na seleção de erva-mate é o peso de massa foliar, que está relacionado com número e tamanho de folhas (comprimento e largura), capacidade fotossintética e com a base genética, dentre outros fatores. Dessa forma, o objetivo final do melhoramento em benefício da produção da erva-mate refere-se à maximização da expressão fenotípica na produção de folhas. Uma vez que a expressão fenotípica é função do genótipo, ambiente e interação genótipo x ambiente, tornando-se relevante o estudo destes fatores. Assim, a predição dos valores genéticos e o estudo dos fatores ambientais são de igual relevância para o melhoramento genético desta espécie (RESENDE et al., 2000).

O coeficiente de repetibilidade individual ($r=h^2$) encontrado no presente estudo, apresentou valor de 0,2692, que é considerado de baixa magnitude segundo a classificação de Resende (2002). De acordo com Laviola et al. (2013), os valores baixos de repetibilidade em plantas perenes são comumente observados em genótipos não estabilizados. Dessa forma, para aumentar a repetibilidade e diminuir a variância do genótipo x ambiente é necessário aumentar o número de medições (MARTUSCELLO et al., 2007). Portanto, a repetibilidade é de suma importância para estimar a superioridade de um genótipo em relação a um caractere de interesse e, a capacidade de repetir este caractere durante a vida da planta (STURION; RESENDE, 2000). Para Sturion e Resende (2000) a utilização do coeficiente de repetibilidade para a produção de massa foliar consiste em uma estratégia de melhoramento para a erva-mate, que associada ao germoplasma atualmente disponível, permite obter ganhos genéticos rápidos.

A acurácia seletiva (A_{cm}) para número de folhas, obteve valor de 0,6579, sendo classificada como moderada (RESENDE; DUARTE, 2007). Quanto maior a acurácia seletiva, maior será a confiança do valor genotípico predito e os valores genotípicos verdadeiros (STURION; RESENDE, 2005). Assim, apesar da repetibilidade ter sido de baixa magnitude, a acurácia e a precisão experimental foram de magnitudes

moderadas, considerando todas as coletas e avaliações realizadas neste estudo. Assim, para uma seleção de forma eficiente, deve-se aumentar o número de medições, conforme mencionado por Martuscello et al. (2007).

5.3 SELEÇÃO DE CLONES COM COMPETÊNCIA AO ENRAIZAMENTO ADVENTÍCIO E QUALIDADE MUDA

Com base nos resultados, foram ranqueados os melhores clones que combinam competência ao enraizamento adventício e qualidade das mudas produzidas, considerando os componentes médios (BLUPs individuais), para porcentagem de enraizamento, número de raízes e de folhas, que tiveram efeitos significativos entre os diferentes clones de erva-mate. De 38 clones com informações consistentes para enraizamento de miniestacas e 37 clones para qualidade de muda, foram selecionados os melhores quatro que combinam enraizamento com qualidade de mudas produzidas por miniestaquia, que apresentaram média de 57,8% de enraizamento, 4,3 raízes e 7,8 folhas. Em relação ao ganho genético, a seleção de clones para porcentagem de enraizamento, número de raízes e número de folhas, resultaram em um ganho genético direto de 43,56%, 15,82 raízes e 15,12 folhas, respectivamente (Tabela 8). Os ganhos indiretos de seleção foram maiores para altura da parte aérea e comprimento médio das três maiores raízes (15 e 2,19%, respectivamente) e menores para diâmetro do colo (mm) e da relação da altura da parte aérea com diâmetro do colo (cm/mm) (0 e 0,64%, respectivamente).

Tabela 8 - Efeito fenotípico permanente (Fp), valor fenotípico permanente (u + Fp), ganho genético (GS), nova média (Nm) e o desempenho relativo em porcentagem (DR) estimado para porcentagem de enraizamento, número de raízes e número de folhas, para os 4 melhores clones de erva-mate (*J. paraguayensis*).

Clones	Porcentagem de enraizamento					Número de raízes					Número de folhas				
	Fp	u + fp	GS	Nm	DR	Fp	u + fp	GS	Nm	DR	Fp	u + fp	GS	Nm	DR
17SMLZ-43	16,47	56,76	20,13	60,42	91,45	0,86	4,59	0,86	4,59	100,00	1,03	7,84	1,17	7,99	97,51
17SM1-34	14,25	54,54	18,95	59,25	89,67	0,04	3,77	0,34	4,07	88,75	1,02	7,83	1,14	7,95	97,03
17SMJS-11	12,89	53,18	17,94	58,23	88,14	0,33	4,06	0,54	4,27	93,12	0,46	7,27	0,82	7,63	93,16
17SMLZ-34	5,38	45,67	13,18	53,47	80,93	0,45	4,17	0,63	4,36	95,05	0,71	7,52	0,97	7,79	95,05
MS			57,84					4,32					7,84		
MO			40,29					3,73					6,81		
GSt			17,55					0,59					1,03		
GSt (%)			43,56					15,82					15,12		

Em que: MS: médias dos clones selecionados; MO: média original com todos os clones; GSt: ganho genético total e GSt (%): ganho genético total em porcentagem.

Assim, a seleção de clones com base na porcentagem de enraizamento, número de raízes e número de folhas foi fundamental para identificar aqueles que combinam competência ao enraizamento adventício e qualidade de muda, uma vez que apresentaram variação entre os diferentes clones de erva-mate avaliados. Considerando os resultados deste trabalho, a seleção dos melhores quatro clones elevou a média original de 40,3 para 57,8% para porcentagem de enraizamento, de 3,7 para 4,3 raízes por miniestaca e de 6,8 para 7,8 folhas por muda de erva-mate. Novas pesquisas devem ser conduzidas para avaliar o comportamento dos clones em coletas sucessivas e estimar os parâmetros genéticos para diferentes épocas do ano, conforme sugerido por Burin et al. (2018b), para que a seleção seja eficiente e a produção massal de mudas adequada ao longo do ano.

Conforme Burin et al. (2018b) os maiores ganhos de seleção em canjerana foram obtidos para o número de miniestacas enraizadas por minicepa (79,1%) seguido de porcentagem de enraizamento (61%). Resultados semelhantes foram observados por Gazzana (2019) na seleção de progênies de erva-mate, na qual o número de miniestacas por minicepa foi fundamental para identificar aqueles com competência ao enraizamento adventício, uma vez que este parâmetro variou entre as progênies de erva-mate avaliadas. Segundo Müller et al. (2009), o número de miniestacas enraizadas é um caráter muito importante, pois define a taxa de multiplicação potencial de um clone e, por conseguinte, indica a quantidade possível de mudas produzidas através da miniestaquia. Em se tratando de seleção para qualidade de muda, em *Eucalyptus Urophylla* os maiores ganhos diretos de seleção foram obtidos para diâmetro do colo (84,4%), seguido da relação da matéria seca do caule com matéria seca da raiz (71,9%) e matéria seca do caule (59,7%) (GODOY; ROSADO, 2011). Para Bisognin et al. (2020) na seleção de progênies de cabreúva (*Myrcarpus frondosus*), o maior ganho de seleção para crescimento das mudas em viveiro foi para a relação de altura da parte aérea com diâmetro do colo.

Com base nos resultados obtidos, é possível observar que a seleção de clones de erva-mate que combinam competência ao enraizamento adventício e qualidade das mudas produzidas pode ser realizada através da porcentagem de enraizamento, número de raízes e número de folhas. Entretanto, recomenda-se avaliações futuras com base na produtividade e no número de miniestacas enraizadas por minicepa ao longo do ano, possibilitando a definição de estratégias mais adequadas a serem adotadas em programa do melhoramento genético da erva-mate.

6 CONCLUSÃO

Os clones de erva-mate apresentam diferenças quanto ao enraizamento adventício e qualidade das mudas produzidas por miniestaquia.

A porcentagem de enraizamento, número de raízes e folhas em mudas de erva-mate produzidas por miniestaquia possibilitam ganhos genéticos satisfatórios de seleção para estes caracteres.

Os resultados deste trabalho evidenciam um alto potencial de estratégia de melhoramento genético para a propagação vegetativa de erva-mate e indicam altas possibilidades de ganho de seleção.

Recomenda-se avaliações futuras com base na produtividade e no número de miniestacas enraizadas por minicepa ao longo do ano, possibilitando a definição de estratégias mais apropriadas a serem seguidas em programa do melhoramento genético da erva-mate.

REFERÊNCIAS

ALCANTARA, G. B. et al. Efeitos do ácido indolbutírico (AIB) e da coleta de brotações em diferentes estações do ano no enraizamento de miniestacas de *Pinus taeda* L. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 78, p. 151-156, 2008.

ALCANTARA, G. B. et al. Efeito da idade da muda e da estação do ano no enraizamento de miniestacas de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, v. 31, n. 3, p. 399-404, 2007.

ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MAFIA, R. G.; ASSIS, T. F. de. **Clonagem e doenças do eucalipto**. 2. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2009. 500 p.

ALFENAS, A. C. et al. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Viçosa: UFV. 2004. 442p.

ALMEIDA, F.D. et al. Propagação vegetativa de árvores selecionadas de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell por estaquia. **Revista Árvore**, v. 31, n. 3, p.445-53, 2007.

ASSIS, T. F. de; TEIXEIRA, S. L. Enraizamento de plantas lenhosas. In: TORRES, A. C.; CALDAS, L. S.; BUSO, J. A. (Ed.). **Cultura de tecidos e transformação genética de plantas**. Brasília: Embrapa-SPI/Embrapa/CNPH, v. 1, n. 3, p. 261-296, 1999.

ATKINSON, D. The growth, activity and distribution of the fruit tree root system. **Plant and Soil**, v. 71, n. 3, p. 23-35, 1983.

AZEVEDO, G. T. O. S. et al. Enraizamento de miniestacas de eucalipto com diferentes doses de polímero hidroretentor incorporado ao substrato. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 108, p.773-780, 2015.

BELTRAME, R.; BISOGNIN, D. A.; MATTO, B. D.; FILHO, A. C.; HASELEIN, C. R.; GATTO, D. A.; SANTOS, G. A. Desempenho silvicultural e seleção precoce de clones de híbridos de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 6, p. 791-796, 2012.

BIRCHLER, T. et al. La planta ideal: revision del concepto, parametros definitorios e implementation practica. Madrid, **Investigacion Agraria, Sistemas y Recursos Forestales**, v. 7, n. 2, p. 109-121, 1998.

BISOGNIN, D. A.; LOPES, G. A.; MALHEIROS, A. C.; TREVISAN, R.; LENCINA, K. H. Mini-cutting rooting and plantlet growth in *Erythrina crista-galli* L. **Revista Ceres**, v. 68, n. 2, p. 135-142, 2021.

BISOGNIN, D. A. et al. Progeny selection of *Myrocarpus frondosus* for improved growth vigor of seedlings. **Ciência e Natureza**, v. 42, e23, Special Edition: 40 anos, p. 1-16, 2020.

BISOGNIN, D. A.; LENCINA, K.H.; KIELSE, P.; FLEIG, F.D.; SILVEIRA, R.; GIMENES, E.S. Cuttings of post fire epicormic shoots of *Ilex paraguariensis* and *Cabralea canjerana* adult plants. **Ciência Rural**, v. 47, n. 3, p. 1-6, 2017.

BISOGNIN, D. A.; Breeding vegetatively propagated horticultural crops. **Crop Breeding Applied Biotechnology**, S1, n. 11, p. 35-43, 2011.

BITENCOURT, J. et al. Estaquia de *Ginkgo biloba* L. utilizando três substratos. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 12, n. 2, p. 135-140, 2010.

BITENCOURT, J.; ZUFFELLATO-RIBAS, K.C.; WENDLING, I.; KOEHLER, H.S. Enraizamento de estacas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hill.) provenientes de brotações rejuvenescidas. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v.11, n. 3, p. 277-281, 2009.

BOENE, H. C. A. M. et al. Efeitos de diferentes substratos na produção de mudas de *Sebastiania commersoniana*. **Revista Floresta**, v. 43, n. 3, p. 407 - 420, 2013.

BORGES, S. R. et al. Enraizamento de miniestacas de clones híbridos de *Eucalyptus globulus*. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 425-434, 2011.

BRAGAGNOLO, N.; PAN, W.; FILHO, L. K. **Manual técnico de erva-mate**. Curitiba: ACARPA/EMATER, 1980. 40p.

BRONDANI, G. E.; WENDLING, I.; ARAÚJO, M. A.; SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; ROVEDA, L. F. Composições de substratos e ambientes de enraizamento na estaquia de *Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. **Revista Floresta**, v. 39, n. 1, p. 41-49, 2009.

BRONDANI, G. E. et al. Ambientes de enraizamento e substratos na miniestaquia da erva-mate. **Scientia Agraria**, v. 8, n. 3, p. 257 - 267 2007.

BRUNA, E. D.; MORETO, A. L.; DALBÓ, M. A. Uso do coeficiente de repetibilidade na seleção de clones de pessegueiro para o litoral sul de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 34, n. 1, p. 206-215, 2012.

BURIN, C.; BISOGNIN, D. A. LENCINA, K. H.; GIMENES, E. S. Early selection of *Cabralea canjerana* for propagation by mini-cutting. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 9, p.1018-1024, 2018a.

BURIN, C.; BISOGNIN, D.A.; LENCINA, K. H.; SOMAVILLA, T. M.; PEDROSO, M. F. Enraizamento de miniestacas em diferentes épocas de coleta para a seleção de clones de canjerana. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 2, p. e5530, 2018b.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações**. Porto Alegre: Artmed, 2003. 255p.

CAMPOSTRINI, E. **Comportamento de quatro genótipos de mamoeiro (*Carica papaya* L.) sob restrição mecânica ao crescimento do sistema radicular**. 1997.

166 p. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 1997.

CARGNELUTTI FILHO, A. et al. Tamanho de amostra para estimação do coeficiente de correlação linear de Pearson entre caracteres de milho. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 45, n. 12, p. 1363-1371, 2010.

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

CARVALHO, P. E. R. **Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira**. Colombo: Embrapa - CNPF; Brasília: Embrapa-SPI, 1994, 639p.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. 1. Ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo: Embrapa Florestas, 2003, 1039 p.

CECONI, D. E.; POLETTO, I.; BRUN, E. J.; LOVATO, T. Crescimento de mudas de açoita-cavalo (*Luehea divaricata* Mart.) sob influência da adubação fosfatada. **Revista Cerne**, v. 12, n. 3, p. 292-299, 2006.

CHECHI, L. A.; SCHULTZ, G. **A produção de erva-mate: um estudo da dinâmica produtiva nos estados do sul do Brasil**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 13, n. 23, p. 16, 2016.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1994. 390p.

CUNHA, A, C, M, C, M. et al. Relações entre variáveis climáticas com produção e enraizamento de miniestacas de Eucalipto. **Revista árvore**. v. 33, n. 2, p 195-203, 2009.

CUNHA, A. C. M. C. M.; PAIVA, H. N.; XAVIER, A.; OTONI, W. C. Papel da nutrição mineral na formação de raízes adventícias em plantas lenhosas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, n. 58, p. 35-47, 2009.

DIAS, P. C.; OLIVEIRA, L. S.; XAVIER, A.; WENDLING, I. Estaquia e miniestaquia de espécies florestais lenhosas do Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 32, n. 72, p. 453-462, 2012.

DICKSON, A. et al. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. **Forest Chronicle**, v. 36, p.10-13, 1960.

ELOY, E.; CARON, B. O.; SCHMIDT, D.; BEHLING, A.; SCHWERS, L.; ELLI, E. F. Avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis* utilizando parâmetros morfológicos. **Floresta**, v. 43, n. 3, p. 373 -384, 2013.

FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J. C. (Eds). **Propagação de plantas frutíferas**. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas. 2005. 221p.

FANTE JÚNIOR, L. **Sistema radicular de aveia forrageira avaliado por diferentes métodos, incluindo processamento de imagens digitais.** 1997. 119p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Piracicaba, 1997.

FARIAS NETO, J. T.; CARVALHO, J. U.; MULLER, C. H.; Estimativas de correlação e repetibilidade para caracteres do fruto de bacurizeiro. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 28, n. 2, p 300- 305, 2004.

FERREIRA, E. M.; ALFENAS, A. C.; GONÇALVES, M. R.; GARCIA, L. H.; CARDOSO, S. R.; PENCHEL FILHO, R. M. Determinação do tempo ótimo de enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus* spp. **Revista Árvore**, v. 28, n. 2, p. 183-187, 2004.

FERREIRA, M. **Melhoramento e a silvicultura intensiva clonal.** IPEF, n. 45, p.22-30, 1992.

FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas:** o estudo que está por trás do que se vê. Passo Fundo: UPF, 2004. 528p.

FRAMPTON, L. J.; FOSTER, G. S.; Field testing vegetative propagules. In: AHUJA, M, R.; LIBBY, W, J.; FRAMPTON, L, J.; FOSTER, G. S. Field testing vegetative propagules. In: AHUJA, M, R.; LIBBY, W, J. (Ed.). **Clonal Forestry: genetics and biotechnology.** Budapest: Springer – Verlag, p. 110-134, 1993.

FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. A. Dinâmica de raízes de espécies arbóreas: visão da literatura. **Ciência Florestal**, v. 18, n. 1, p.133-142, 2008.

FREITAS, T. A. S.; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. A.; PENCHEL, R. M.; LAMÔNICA, K. R.; FERREIRA, D. de A. Desempenho radicular de mudas de eucalipto produzidas em diferentes recipientes e substratos. **Revista Árvore**, v. 29, n. 6, p. 853-861, 2005.

GAIAD, S. **Sistemas de produção:** cultivo de erva-mate. 2. Ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2010.

GASPARIN, E.; AVILA, A. L.; ARAUJO, M. M.; FILHO, A. G.; DORNELES, D. U.; FOLTZ, D. R. B. Influência do substrato e do volume de recipiente na qualidade das mudas de *Cabralea canjerana* (Vell.) Mart. em viveiro e no campo. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 3, p. 553-563, 2014.

GAZZANA, D.; PIMENTEL, N. LOHMANN, G.T.; SPANEVELLO, J.F.; BISOGNIN, D.A. Selection between and within half-sibling progenies of *Ilex paraguariensis* for adventitious rooting of mini-cuttings. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, n. 4, p. e32562043, 2020.

GAZZANA, D.; PIMENTEL, N.; LOHMANN, G. T.; MACULAN, L. G.; BOSOGNIN, D. A. Vegetative propagation of mate from shoot cuttings induced by coppicing of

selected plants. Semina: **Ciências Agrárias**, v. 41, n. 5, suplemento 1, p. 1849-1860, 2020.

GAZZANA, D. **Seleção entre e dentro de progênies de erva-mate para o enraizamento adventício**. 60p. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2019.

GODOY, R.; ROSADO, S. C. S. Estimativas de ganhos genéticos em caracteres de crescimento em plantas jovens de *Eucalyptus urophylla* ST Blake. **Cerne**, v. 17, n. 2, p. 189-193, 2011.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N. de. **Viveiros florestais: propagação sexuada**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2011. 116p. (Série didática).

GOMES, J. M.; COUTO, L.; LEITE, H. G.; XAVIER, A.; GARCIA, S. L. R. Parâmetros morfológicos na avaliação da qualidade de mudas de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 26, n. 6, p. 655-664, 2002.

GOMES, J. M.; PAIVA, H. N.; COUTO, L. **Produção de mudas de Eucalipto**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 18, n. 185, p. 15-23, 1996.

GOMES, J. M. et al. Influência do tratamento prévio do solo com brometo de metila no crescimento de mudas de *Pinus caribacea* var. *hondurensis* em viveiro. **Brasil Florestal**, v. 9, n. 35, p. 18-23, 1978.

GONÇALVES, J. L. M. et al. Produção de mudas de espécies nativas: substrato, nutrição, sombreamento e fertilização. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Nutrição e fertilização florestal**. Piracicaba: IPEF, p. 309-350, 2005.

GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M. O sistema radicular das árvores. In: **NUTRIÇÃO E FERTILIZAÇÃO DE FLORESTAS**, Piracicaba/SP. **Anais...** Piracicaba/SP: IPEF, 2000. p. 221-267.

GONÇALVES, P. de S.; BORTOLETTO, N.; FONSECA, F.; BATAGLIA, O. C.; ORTOLANI, A.A. Early selection for growth vigor in rubber tree genotypes in northwestern São Paulo state (Brazil). **Genetics and Molecular Biology**, v. 21, p. 620-630, 1998.

GROSSNICKLE, S. C. Importance of root growth in overcoming planting stress. **New Forests**, v. 30, n. 2-3, p. 273–294, 2005.

HAASE, D. L. Understanding forest seedling quality: measurements and interpretation. **Tree Planters' Notes**, v. 52, n. 2, p. 24-30, 2008.

HARMAND, J. M. et al. Aboveground and belowground biomass, productivity and nutrient accumulation in tree improved fallows in the dry tropics of Cameroon. **Forest Ecology and Management**, v. 188, p.249-265, 2004.

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; JUNIOR DAVIES, F. T.; GENEVE, R. L. **Plant propagation: principles and practices**. 8. Ed. New Jersey: Englewood Clippis, 2011. 900p.

HARTMANN, H.T.; KESTER, D. E.; DAVIES JÚNIOR, F.T; GENEVE, R.L. **Plant propagation: principles ans practices**. 7. ed. New Jersey: Prentice- Hall, 2002. 880p.

HEBERLE, M. **Enraizamento de Miniestacas e Seleção de *Cordia trichotoma* (vellozo) Arrabida ex Steudel para a Propagação por Miniestaquia**. 2010. 76 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.

HIGA, R. C. V. Propagação vegetativa de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) por estaquia. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS: Silvicultura da erva-mate, 10, 1983, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Embrapa-CNPF, p. 119-123, 1983.

HIGASHI, E. N.; SILVEIRA, R. L. V. de A.; GONÇALVES, A. N. Nutrição e adubação em minijardim clonal hidropônico de *Eucalyptus*. **Circular Técnica IPEF**, n. 194, São Paulo: Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000, 21p.

IVANCHECHEN, S. L. **Estudo morfológico e terminológico do tronco e casca de 30 espécies arbóreas em floresta ombrófila mista**. 1988. 221p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

JOHNSON, J. D.; CLINE, P. M. Seedling quality of southern pines. In: DUREYA, M. L., DOUGHERTY, P. M. (Eds.). **Forest regeneration manual**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, p. 143-162, 1991.

KRATZ, D.; WENDLING, I. Produção de mudas de *Eucalyptus dunnii* em substratos renováveis. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 1, p. 125-136, 2013.

LAJÚS, C. R. et al. Ácido Indolbutírico no enraizamento de estacas lenhosas de figueira (*Ficus carica* L.) **Revista Brasileira de Biociências**, v. 5. n. 2, p. 1107-1109, 2007.

LAVIOLA, B.G.; OLIVEIRA, A.M.C.; BHERING, L.L.; ALVES, A.A.; ROCHA, R.B.; GOMES, B.E.L.; CRUZ, C. Estimates of repeatability coeficientes and selection gain sin *Jatropha* indicate that higher cumulative genetic gains can be obtained by relaxing the degree of certainty in predicting the best families. **Crops and Products**, v. 51, p.70-76, 2013.

LISBOA, A. C.; SANTOS, P. S.; NETO, S. N. O.; CASTRO, D, N.; ABRE, A. H. M. Efeito do volume de tubetes na produção de mudas de *Calophyllum brasiliense* e *Toona ciliata*. **Revista Árvore**, v. 36, n. 4, p.603-609, 2012.

LOPES, V. G. **Quantificação das raízes finas em um povoamento de *Pinus taeda* L., na região dos Campos de cima da serra, RS**. 2009. 83p. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

LOPES, J. L. W. **Produção de mudas de *Eucalyptus grandis* W. (Hill ex. Maiden) em diferentes substratos e lâminas de irrigação.** Botucatu, UNESP: 2004. 100p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras:** manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008, v. 1, 384p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras:** manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2000. 352p.

LYNCH, J. P.; HO, M. D. Rhizoeconomics: carbon costs of phosphorus acquisition. **Plant and Soil.** Dordrecht, n. 269, p. 45-46, 2005.

MARTUSCELLO, J. A. et al. Repetibilidade de caracteres agronômicos em *Panicum maximum* Jacq. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 6, p. 1975-1981, 2007.

MASSARO, R. A. M.; BONINE, C. A. V.; SCARPITANI, E. A.; DE PAULA, R. C. Viabilidade de aplicação da seleção precoce em testes clonais de *Eucalyptus* spp. **Ciência Florestal**, v. 20, p. 597-609, 2010.

MAYE, E. L. P.; PERES, F. B.; TAMBARUSSI, E. V. Arquitetura foliar de miniestacas e aplicação de biofertilizante à base de aminoácidos na miniestaquia de *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cambage. **Scientia. Forestalis**, v. 46, n. 118, p. 251-260, 2018.

MEDEIROS, A. C. de S. Dormência em sementes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) **Documento 36.** Colombo. Embrapa Florestas, 1998.

MEDINA, C. C.; NEVES, C. S. V. J.; FONSECA, I. C. B.; TORRETI, A. F. Crescimento radicular e produtividade de cana-de-açúcar em função de doses de vinhaça em fertirrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 23, n. 2, p.179-184, 2002.

MELLO, S. L. M. **Características do sistema radicular de povoamentos de eucaliptos propagados por sementes e estacas.** 1997. 79p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1997.

MELO, L. A.; ABREU, A. H. M.; LELES, P. S. S.; OLIVEIRA, R. R.; SILVA, D, T. Qualidade e crescimento inicial de mudas de *Mimosa caesalpinifolia* Benth. produzidas em diferentes volumes e recipientes. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 47-55, 2018.

MELO L. A. et al. Otimização do tempo necessário para o enraizamento das mini-estacas do clone híbridos de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 35, n. 4, p. 759-767. 2011.

MEXAL, J. L.; LANDIS, T. D. Target seedling concepts: height and diameter. In: TARGET SEEDLING SYMPOSIUM, MEETING OF THE WESTERN FOREST NURSERY ASSOCIATIONS, GENERAL TECHNICAL REPORT RM-200, 1990, Roseburg. **Proceedings...** p.17-35. Fort. Collins: United States Department of Agriculture, Forest Service, 1990.

MIQUELONI, D. P. **Variabilidade genética em amendoim forrageiro via modelos mistos e análise multivariada**. 2018. 163p. Dissertação (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal do Acre, AC, 2018.

MORAES, D. G. et al. Enraizamento de miniestacas caulinares e foliares juvenis de *Toona ciliata* M. Roemer. **Magistra**. v. 26, n. 1, p 47, 2014.

MOREAU, A. M. S. S. et al. Distribuição de biomassa de raízes de eucalipto em solos coesos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 31, 2007, Gramado/RS. **Anais...** Gramado, 2007.

MÜLLER, D. R. BISOGNIN, D. A.; ANDRIOLO, J. L.; MORIN JUNIOR, G. R.; GNOCATO, F.S. Expressão dos caracteres e seleção de clones de batata nas condições de cultivo de primavera e outono. **Ciência Rural**, v. 39, n. 5, p. 1237-1334, 2009.

NAVROSKI, M. C.; BIALI, L. J.; BIANCHIN, J. E.; CAMARGO, L.; SCHUMACHER, M. V. Quantificação de biomassa e comprimento de raízes finas em povoamento de *Eucalyptus cloeziana* F. Muell. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 4, p. 535-540, 2010.

NETO, U. R. M. Estaquia herbácea de pessegueiro CV. Charme, em função de diferentes concentrações de ácido indolbutírico (AIB) e número de folhas. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 12, n. 1, p. 27-29, 2006.

NEVES, T. S. et al. Enraizamento de corticeira-da-serra em função do tipo de estaca e variações sazonais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n. 12, p. 1699-1705, 2006.

NEVES, J. C. L.; GOMES, J. M.; NOVAIS R. F.; BARROS, N. F. Fertilização mineral de mudas de eucalipto. In: Crescimento em campo de espécies florestais em diferentes condições de adubações, eds. **Relação solo-eucalipto**. Viçosa: Folha de Viçosa, p. 99-126, 1990.

OLIVEIRA, T. P. F. et al. Aplicação de AIB e tipo de miniestacas na produção de mudas de *Handroanthus heptaphyllus* Mattos. **Ciência Florestal**, v. 26, n. 1, p. 313-320, 2016.

OLIVEIRA, M. C. et al. **Manual de Viveiro e Produção de Mudas**. Brasília, DF. Embrapa. Cerrados, 2016, 128p.

OLIVEIRA, L. S.; DIAS, P. C.; ALMEIDA, M. Avaliação genética do enraizamento de miniestacas de uma procedência de *Eucalyptus cloeziana*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 84, p. 391-397, 2015.

OLIVEIRA, A. N. et al. Variações genéticas para características do sistema Radicular de mudas de baru (*Dipteryx alata* Vog.). **Revista Árvore**, v. 30, n.6, p. 905-909, 2006.

OLIVEIRA, Y. M. M.; ROTTA, E. **Área de distribuição natural de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 10, 1983, Curitiba. **Anais...Curitiba: EMBRAPA-CNPQ**, 1985. p. 17-36.

PAIVA, H. N.; GOMES, J. M. **Propagação vegetativa de espécies florestais**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1995. 40p.

PEREIRA, A. B.; MARQUES JUNIOR, O. G.; RAMALHO, M.A.P.; ALTHOFF, P. Eficiência da seleção precoce em famílias de meios-irmãos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., avaliadas na região noroeste do Estado de Minas Gerais. **Cerne**, v. 3, n. 1, p. 67-81, 1997.

PICHETH, J. A. T. F. **Efeito de soluções alcoólicas do ácido indol - 3 Butírico no enraizamento de estacas de árvores adultas de erva mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. 1997. 69p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). UFPR, Curitiba, 1997.

PIMENTEL, N.; RODRIGUES, M.B.; FLORES, R.; BISOGNIN, D.A. How do clonal plantlets of mate respond to different substrate compositions and shading levels? **Bioscience Journal**, v. 36, n. 6, p. 2020-2031, 2020.

PIMENTEL, N.; LENCINA, K. H.; KIELSE, P.; RODRIGUES, M. B.; SOMAVILLA, T. M.; BISOGNIN, D. A. Produtividade de minicepas e enraizamento de miniestacas de clones de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.). **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 559-570, 2019.

PIMENTEL, N. **Miniestaquia e qualidade de mudas de erva- mate**. 2016, 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

PIMENTEL, N.; LENCINA, K. H.; PEDROSO, M. F.; SOMAVILLA, T. M.; BISOGNIN, D. A. Morphophysiological quality of yerba mate plantlets produced by mini-cuttings. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 38, n. 6, p. 3515-3528, 2017.

PIMENTEL, A. J. B. et al. Estimação de parâmetros genéticos e predição de valor genético aditivo de trigo utilizando modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 11, p. 882-890, 2014.

PITA, JÚNI OR, J. L.; **Propagação do rambutanzeiro (*Nephelium lappaceum* L.)**. 2010. 37p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2010.

QUADROS, K. M. propagação vegetativa de erva mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire – Aquifoliaceae). 2009. 69p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

REIS, E. R. dos et al. Variabilidade dos parâmetros morfológicos em mudas de *Pinus elliottii* Engelm. **Revista Cerne**, Lavras, v. 14, n. 2, p. 141-146, 2008.

REIS, G. G. et al. Crescimento de *Eucalyptus camaldulensis*, *E. grandis* e *E. cloeziana* sob diferentes níveis de restrição radicular. **Revista Árvore**, v. 13, n. 1, p. 1-18, 1989.

RESENDE, M. D. V. Software Selegen-REML / BLUP: uma ferramenta útil para o melhoramento de plantas. **Crop Breed. Appl. Biotechnol**, v. 16, n. 4, p. 330-339, 2016.

RESENDE, M. D. V. de; DUARTE, J.B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 37, n. 3, p.182-194, 2007.

RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2002, 975p.

RESENDE, M. D. V.; STURION, J. A.; CARVALHO, A. P.; SIMEÃO, R. M.; FERNANDES, J. S. C. **Programa de Melhoramento da Erva-mate coordenado pela Embrapa: resultados da avaliação genética de populações, progênies, 56 indivíduos e clones**. Radial: Embrapa Florestas, Circular Técnica 43, Colombo, 2000. 67p.

REZENDE, G. D. S. P.; BERTOLUCCI, F. de L.G.; RAMALHO, M. A. P. Eficiência da seleção precoce na recomendação de clones de eucalipto avaliados no norte do Espírito Santo e sul da Bahia. **Cerne**, v. 1, n. 1, p. 45-50, 1994.

RITCHIE, G. A. et al. Assessing plant quality. In: LANDIS, T. D.; DUMROESE, R. K.; HAASE, D. L. **Seedling processing, storage, and outplanting**. Washington, US: Department of agriculture forest service. 2010. 200p.

SANCHÉZ, C. F. B.; ALVES, R. S.; GARCIA, A. D. P.; TEODORO, P.E.; PEIXOTO, L. A.; SILVA, L. A.; RESENDE, M.D.V. Estimates of repeatability coefficients and the number of the optimum measure to select superior genotypes in *Annona muricata* L. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 3, 2017.

SANTOS, J. P.; DAVIDE, A. C.; TEIXEIRA, L. A. F.; MELO, A. J. S. M.; MELO, L. A. Enraizamento de estacas lenhosas de espécies florestais. **Cerne**, v. 17, n. 3, p. 293-301, 2011.

SANSBERRO, P. A. et al. Plant Regeneration of *Ilex paraguariensis* (Aquifoliaceae) by in vitro culture of nodal segments. **Biocell**, v. 24, n. 1, p. 53-63, 2000.

- SANTIN, D.; WENDLING, I.; BENEDETTI, E. L.; MORANDI, D.; DOMINGOS, D. M. Sobrevivência, crescimento e produtividade de plantas de erva-mate produzidas por miniestacas juvenis e por sementes. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 3, p. 571-579, 2015.
- SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; REISSMANN, C. B. **Propagação e nutrição de erva-mate**. Brasília, DF. Embrapa. Florestas, 2014, 8p.
- SANTOS, C. B.; LONGHI, S. J.; HOPPE, J. M.; MOSCOVICH, F. A. Efeitos do volume de tubetes e tipos de substratos na qualidade de mudas de *Cryptomeria japonica* (L. F.) D. Don. **Ciência Florestal**, v. 10, n. 2, p. 1-15, 2000.
- SCHUMACHER, M. V.; VIEIRA, M. **Silvicultura do eucalipto no Brasil**. 1. ed. Santa Maria, 2015, 308p.
- SCHUMACHER, M. V.; CECONI, D. E.; SANTANA, C. A. Influência de diferentes doses de fósforo no crescimento de mudas de Angico-vermelho (*Parapiptadenia rigida* (Bentham) Brenan). **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 149-155, 2004.
- SILVA, R. B. G.; SIMÕES, D.; SILVA, M. R. Qualidade de mudas clonais de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* em função do substrato. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Florestal**, v. 16, n. 3, p. 297-302, 2012.
- SILVA, M. G. P. C.; MARTINI, A. M. Z.; ARAÚJO, Q. R.; Estrutura populacional de *Euterpe edulis* Mart. no Sul da Bahia, Brasil. **Revista Brasil**, v. 32, n. 2, p. 393-403, 2009.
- SILVA, A. C. et al. Variações genéticas na qualidade do sistema radicular de mudas de candeia (*Eremanthus erythropappus* (DC.) MacLeish). **Revista Árvore**, v. 31, n. 4, p. 609-617, 2007.
- SILVA, P. H. M. **Sistemas de propagação de mudas de essências florestais**. IPEF: Piracicaba, SP. 2005. 3p
- SILVA R. L.; XAVIER, A.; LEITE, H. G.; PIRES, I. E. Determinação do tamanho ótimo da parcela experimental pelos métodos da máxima curvatura modificado, do coeficiente de correlação intraclasse e da análise visual em testes clonais de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 27, n. 5, p. 669-676, 2003.
- SOUZA, N. H.; MARCHETTI, M. E.; CARNEVALI, T. O.; RAMOS, D. D.; SCALON, S. P. Q.; SILVA, E. F. Estudo nutricional da canafístula (I): crescimento e qualidade de mudas em resposta à adubação com nitrogênio e fósforo. **Revista Árvore**, v. 37, n. 4, 2013.
- SOUZA, C. A. M.; OLIVEIRA, R. B.; FILHO, S. M.; LIMA, J. S. S. Crescimento em campo de espécies florestais em diferentes condições de adubações. **Ciência Florestal**, v. 16, n. 3, p. 243-249, 2006.
- SOMAVILLA, T. M. **Enraizamento de Miniestacas e Seleção de *Cordia trichotoma* (vellozo) Arrabida ex Steudel para a Propagação por Miniestaquia**. 2018. 90 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2018.

STUEPP, C. A.; BITENCOURT, J.; WENDLING, I.; KOEHLER, H, S.; ZUFFELLATO-RIBAS, C, C. Propagation of yerba mate using shoots from girdling and coppicing for two stock plants ages. **Cerne**, v. 21, n. 4, p. 519-526, 2015.

STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V. Seleção de progênies de erva-mate (*Ilex paraguarensis* St. Hil.) para produtividade, estabilidade e adaptabilidade temporal de massa foliar. **Boletim de Pesquisa Florestal**, n. 50, p. 37-51, 2005.

STURION, J. A. **Produção de mudas e implantação de povoamentos com erva-mate**. Colombo: EMBRAPA– CNPF, 1998.10p. (Circular Técnica, 17).

STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V. de. Programa de Melhoramento genético da erva-mate no Centro Nacional de Pesquisas de Florestas da Embrapa. In: CONGRESSO SUL AMERICANO DA ERVA-MATE, 1; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA-MATE, 2, 1997, Curitiba. **Anais...** Colombo: EMBRAPA – CNPF, 1997.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 565p. VON ADERKAS, P.; BONGA, J. M. Influencing micropropagation and somatic embryogenesis in mature trees by manipulation of phase change, stress and culture environment. *Tree Physiology*, Victoria, v. 20, n. 14, p. 921-928, 2004.

TAVARES, F.R.; PICHETH, J.A.; MASCHIO, L.M. de A. Alguns fatores relacionados com a estaquia da erva-mate (*Ilex paraguariensis*) St. Hil. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL, 7. 1992, Nova Prata. Florestas: Desenvolvimento e Conservação. **Anais...** Santa Maria. Universidade Federal de Santa Maria, 1992. p. 626-639.

TOLFO, A. L.T. **Estudos da viabilidade de aplicação da seleção precoce em testes clonais de *Eucalyptus* spp. e qualidade da madeira para polpa celulósica**. 2003. 50p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2003.

TONETTO, T. S. da. et al. Enraizamento adventício de *Myrocarus frondosus* ALLEMÃO. In: XXXV JORNADAS FORESTALES DE ENTRE RÍOS, 2021. Concórdia/ARG. **Anais...** Concórdia/ARG, 2021. p. 140-144.

TOWNEND, J.; DICKINSON, A.L. A comparison of rooting environments in containers of different sizes. **Plant and Soil**, v. 175, p. 139-146, 1995.

TSAKALDIMI, M. et al. Prediction of planted seedling survival of five Mediterranean species based on initial seedling morphology. **New For**, v. 44, n. 3, p. 327–339, 2013.

ULIANA, M. B. **Substratos e fertirrigação na produção de mudas de *Anadenanthera macrocarpa* (Benth.) Brenan e *Cedrela Odorata* L.** 2009. 66p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade estadual do Oeste do Paraná, Maecham Cândido Rondon, 2009.

WENDLING, I.; GUASTALA, D.; DEDECEK, R. Características físicas e químicas de substratos para produção de mudas de *Ilex paraguariensis* St. Hil. **Revista Árvore**, v. 31, n. 2, p. 209-220, 2007.

WENDLING, I. Enxertia e florescimento precoce em *Araucaria angustifolia*. **Comunicado Técnico nº 272**. Embrapa Florestas, 2005. 7p.

WENDLING, I. Propagação vegetativa de erva-mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire): estado da arte e tendências futuras. **Documento 91**. Colombo. Embrapa Florestas, 2004. 46p.

WENDLING, I. **Propagação vegetativa**. In: SEMANA DO ESTUDANTE UNIVERSITÁRIO, 2003, Colombo/PR. **Anais...** Colombo: Embrapa Florestas, 2003. 6p.

WENDLING, I.; SANTIN, D. **Propagação e nutrição de erva-mate**. Embrapa. 21 ed. 2015. 195p.

WENDLING, I.; DUTRA, L. F.; GROSSI, F. Produção e sobrevivência de miniestacas e minicepas de erva-mate cultivadas em sistema semi-hidropônico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 2, p. 289-292, 2007.

WENDLING, I.; XAVIER, A. Influência da miniestaquia seriada no vigor radicular de clones de *Eucalyptus grandis*. **Revista Árvore**, v. 29, n. 5, p. 681-689, 2005.

WENDLING, I.; XAVIER, A. Miniestaquia seriada no rejuvenescimento de clones de *Eucalyptus*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 4, p. 475-480, 2003.

WENDLING, I.; XAVIER, A.; TITON, M. Miniestaquia na silvicultura clonal de *Eucalyptus*. **Revista Folha Florestal**, Viçosa, n. 1, p. 16-17, 1999.

XAVIER, A. et al. Propagação vegetativa de cedro-rosa por miniestaquia. **Revista Árvore**, v. 27, n. 2, p. 139-143, 2003.

XAVIER, A. et al. **Silvicultura clonal: princípios e técnicas**. Viçosa: Ed UFV, 2009. 272p.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Resumo da análise de variância para comprimento de raízes (cm) de miniestacas, em 21 clones de erva-mate (*I. paraguariensis*), com avaliação aos 60 dias de cultivo em câmara úmida.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Genótipo	20	26,346	1,317	1,843	0,028
Resíduo	84	60,029	0,715		
Total	104	86,376			
CV (%)	55,50				

APÊNDICE B - Resumo da análise de variância para área superficial de raízes (cm²) de miniestacas, em 21 clones de erva-mate (*I. paraguariensis*), com avaliação aos 60 dias de cultivo em câmara úmida.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Genótipo	20	10,527	0,526	2,186	0,007
Resíduo	84	20,220	0,241		
Total	104	30,746			
CV (%)	257,73				

APÊNDICE C - Resumo da análise de variância para diâmetro de raízes (mm) de miniestacas, em 21 clones de erva-mate (*I. paraguariensis*), com avaliação aos 60 dias de cultivo em câmara úmida.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Genótipo	20	5,655	0,283	1,544	0,088
Resíduo	84	15,387	0,183		
Total	104	21,042			
CV (%)	265,00				

APÊNDICE D - Resumo da análise de variância para volume de raízes (cm³) de miniestacas, em 21 clones de erva-mate (*I. paraguariensis*), com avaliação aos 60 dias de cultivo em câmara úmida.

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Genótipo	20	11,31	0,565	2,423	0,003
Resíduo	84	19,616	0,233		
Total	104	30,926			
CV (%)	13,62				