

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

**PROPAGAÇÃO CLONAL DE GENÓTIPOS SUPERIORES DE ERVA-MATE
CV. CAMBONA 4 EM DIFERENTES SUBSTRATOS**

Debora Aline da Fonseca

Passo Fundo

2018

Debora Aline da Fonseca

**PROPAGAÇÃO CLONAL DE GENÓTIPOS SUPERIORES DE ERVA-MATE
CV. CAMBONA 4 EM DIFERENTES SUBSTRATOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Passo Fundo como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Orientador: Alexandre Augusto Nienow
Digitar o nome do coorientador

Passo Fundo

2018

CIP – Catalogação na Publicação

F676p Fonseca, Debora Aline
Propagação clonal de genótipos superiores de erva-mate
cv. Cambona 4 em diferentes substratos / Debora Aline
Fonseca. – 2017.
57 f. : il. color. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Augusto Nienow.
Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade
de Passo Fundo, 2017.

1. Erva-mate - Melhoramento genético. 2. Propagação
por estaquia. I. Nienow, Alexandre Augusto, orientador. II.
Título.

CDU: 633.77

Dedico à memória de meu avô Teodoro Mendes da Fonseca, seu Dorinho, “pai da Cambona 4”, e de minha avó Sebastiana Fernandes da Fonseca, dona Tita, pelas vidas dedicadas à família e à erva-mate.

E aos meus pais, Alcir e Ana Lucia.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Alcir e Ana Lucia, e ao meu irmão Lucas, pelo auxílio sempre que precisei, pela paciência desde o início do curso e por fornecer as condições para que eu realizasse o trabalho da melhor forma possível.

Ao professor Dr. Alexandre Augusto Nienow, meu orientador, pelo incentivo, apoio, pela profissional orientação e contribuição neste trabalho.

Aos professores do PPGAgro pela contribuição no trabalho e meu crescimento profissional durante o curso.

Aos meus amigos e colegas do PPG, Laura, Leonardo e Francine, pela contribuição e auxílio neste trabalho e por tornar meus dias em Passo Fundo, mais alegres e agradáveis.

Agradeço à UPF e ao PPG Agro por fornecer o espaço e condições para o desenvolvimento do trabalho e pela oportunidade.

Agradeço à Capes e a UPF, pela concessão da bolsa de estudos.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

"Não, não haverá para os ecossistemas aniquilados

Dia seguinte.

O ranúnculo da esperança não brota

No dia seguinte.

O vazio de noite, o vazio de tudo

Será o dia seguinte."

Carlos Drummond de Andrade em "Mata Atlântica"

RESUMO

FONSECA, Debora Aline. Propagação clonal de genótipos superiores de erva-mate cv. Cambona 4 em diferentes substratos. [57] f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2017.

A erva-mate Cambona 4, primeira progênie bi-parental selecionada no Brasil, tem sido plantada pelo sabor mais suave e a alta produtividade. Porém, ainda que as plantas apresentem maior uniformidade, variações nas características fenotípicas, produtivas e químicas das folhas ocorrem devido à origem seminal das mudas. O uso da estaquia pode se constituir em uma alternativa viável para a multiplicação de genótipos geneticamente superiores. A pesquisa teve por objetivo avaliar o potencial de enraizamento por estaquia de genótipos superiores de ‘Cambona 4’ em diferentes combinações de casca de arroz carbonizada (CAC) e substrato comercial a base de casca de pinus e fibra de coco (SC). Foram avaliados oito genótipos em cinco misturas de substratos (100% CAC; 75% CAC/25% SC; 50% CAC/50% SC; 25% CAC/75% SC e 100% SC). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições e doze estacas por parcela. A estaquia foi realizada no final de janeiro (verão), em estufa agrícola com irrigação por nebulização intermitente, utilizando estacas semilenhosas apicais de 12 cm, mantendo duas meias folhas. A estaquia foi realizada em tubetes (140 cm³), tratando as estacas com 6.000 mg L⁻¹ de AIB. Os resultados permitiram concluir que ervaíes de ‘Cambona 4’ apresentam genótipos superiores em produtividade com elevado potencial de enraizamento por estaquia. Os genótipos CB6 e CB7 se destacaram pelo melhor enraizamento, superior a 75%. Houve correlação entre a retenção de folhas e a porcentagem de enraizamento. As combinações do substrato comercial com a casca de arroz carbonizada resultaram em misturas mais densas, com menor porosidade, maior fornecimento de água disponível e nutrientes, proporcionando satisfatório enraizamento e, possivelmente, condições para a continuidade do crescimento das mudas sem necessidade de transplantio para outro substrato.

Palavras-chave: 1. *Ilex paraguariensis*. 2. Estaquia. 3. Enraizamento adventício. 4. Genótipos. 5. Matrizes.

ABSTRACT

FONSECA, Debora Aline. Clonal propagation of superior genotypes of yerba mate cv. Cambona 4 on different substrates. [57] f. Dissertation (Master in Agronomy) – University of Passo Fundo, Passo Fundo, 2017.

The Cambona 4 yerba mate, the first bi-parental progeny selected in Brazil, has been planted by the softer flavor and high productivity. However, although the plants exhibit greater uniformity, variations in the phenotypic, productive and chemical characteristics of the leaves occur due to the seed origin of the seedlings. The use of cuttings can be a viable alternative for the multiplication of genetically superior genotypes. The objective of this research was to evaluate the rooting potential of superior genotypes of 'Cambona 4' in different combinations of carbonized rice husk (CAC) and commercial substrate based on pine bark and coconut fiber (SC). Eight genotypes were evaluated in five mixtures of substrates (100% CAC, 75% CAC/25% SC, 50% CAC/50% SC, 25% CAC/75% SC and 100% SC). The cutting was done at the end of January (summer), in an agricultural greenhouse with intermittent misting, using 12 cm apical semilenous cuttings, maintaining two half leaves. The cutting was done in tubes (140 cm³), treating the stakes with 6000 mg L⁻¹ of IBA. The results allowed to conclude that 'Cambona 4' grasses present superior genotypes in productivity with high rooting potential by cuttings. The genotypes CB6 and CB7 stood out for the best rooting, superior to 75%. There was a correlation between leaf retention and rooting percentage. The commercial substrate combinations with carbonized rice husk resulted in denser mixtures, with lower porosity, greater supply of available water and nutrients, providing satisfactory rooting and, possibly, conditions for the continuity of the growth of the seedlings without the need of being transplanted to another substrate.

Key words: 1. *Ilex paraguariensis*. 2. Cutting. 3. Adventitious rooting. 4. Genotypes. 5. Matrices.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	4
2	REVISÃO DA LITERATURA	7
2.1	<i>Características botânicas da erva-mate</i>	7
2.2	<i>Aspectos sócio-econômicos da cultura da erva-mate</i>	8
2.3	<i>Cultivar Cambona 4</i>	9
2.4	<i>Propagação da erva-mate</i>	11
2.4.1	Propagação sexuada	11
2.4.2	Propagação vegetativa por estaquia	13
2.5	<i>Substratos de enraizamento</i>	17
3	MATERIAL E MÉTODOS	19
3.1	<i>Condições experimentais</i>	19
3.2	<i>Tratamentos e delineamento experimental</i>	19
3.3	<i>Material vegetal e procedimentos</i>	20
3.4	<i>Variáveis analisadas</i>	21
3.5	<i>Análise estatística</i>	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4.1	<i>Propriedades físicas e químicas dos substratos</i>	22
4.2	<i>Retenção foliar e sobrevivência das estacas</i>	24
4.3	<i>Enraizamento e formação de calo nas estacas</i>	26
4.4	<i>Estacas brotadas e comprimento das brotações</i>	38
5	CONCLUSÃO	41
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
	REFERÊNCIAS	44

1 INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.- Hil.) é uma espécie de porte arbóreo nativa do sul do Brasil, onde ocorre naturalmente na Floresta Ombrófila Mista e também na Argentina e Paraguai (FOWLER; STURION, 2000).

A espécie é utilizada há muitos séculos pelas populações locais na preparação do popular chimarrão, como é chamado no Rio Grande do Sul, e tornou-se uma cultura perene com grande importância econômica e social, principalmente para a agricultura familiar nos estados do Sul do Brasil, onde vem contribuindo para a permanência das famílias no campo e estimulando a sucessão familiar rural. Muitos jovens têm visto na erva-mate uma oportunidade de geração de renda, que além de ser de fácil cultivo possibilita a diversificação da geração de renda.

A maior parte das folhas verdes colhidas é empregada para a produção de erva de chimarrão e tererê, entretanto suas folhas também são utilizadas na indústria de chás, bebidas geladas e cosméticos. A maioria da produção de folhas verdes abastece o mercado interno nos estados da região Sul, porém a exportação tem se tornado uma importante fonte de receita. Além da importância socioeconômica da cultura, a erva-mate possui grande valor ambiental, já que é nativa nas atuais áreas de cultivo e seu manejo é possível em sistemas agroflorestais, onde os plantios ocorrem juntamente com outras espécies arbóreas nativas. E dessa forma, contribui para a manutenção dos serviços ambientais no local de cultivo, como a redução do calor, local de proteção e fonte de alimento para a fauna, emissão de oxigênio e água, captura de gás carbônico, produção de biomassa e manutenção do solo, além de aumentar a biodiversidade. Inclusive, devido as características da espécie, adequando o manejo da cultura é grande a possibilidade de produzir erva-mate orgânica, o que agrega ainda mais valor ao produto e não agride o meio e os agricultores com agroquímicos.

A exploração da erva-mate se dá a partir da colheita extrativista em plantas nativas e, também, de ervais plantados com mudas obtidas sexualmente (sementes), acarretando alta heterogeneidade entre plantas quanto à produção e à matéria-prima, dificultando o

estabelecimento de padrões de qualidade do produto final produzido pela indústria. É importante ressaltar, que o simples fato de produzir mudas a partir de sementes conduz naturalmente à segregação genética, porém, no caso da erva-mate, o grau de variabilidade é incrementado ainda pela dioicia da espécie. Uma vez que, a formação dos frutos ocorre obrigatoriamente através da polinização cruzada, na qual indivíduos com flores estaminadas atuam como doadoras de grãos de pólen para plantas com flores carpeladas ou pistiladas.

Agrega-se a esse contexto o fato de, muitas vezes, não existir um controle sobre a origem e a qualidade das plantas matrizes que fornecem as sementes. Consequentemente, não há garantias quanto ao vigor de crescimento das mudas e produtividade do erval, bem como da qualidade da erva-mate produzida.

Com o objetivo de obter ervais com características uniformes quanto à produção, taxas de crescimento e sabor, foi desenvolvida a primeira progênie biparental de erva-mate, denominada de Cambona 4, no município de Machadinho, no Estado do Rio Grande do Sul (CORREA et al., 2011). A cultivar Cambona 4 confere à erva-mate produzida um sabor mais suave, com melhor aceitação no mercado interno e maior produtividade. Porém, apesar da exclusividade do cruzamento entre um genótipo feminino e outro masculino, os ervais da progênie ainda apresentam certa heterogeneidade, pelo fato de a produção das mudas ocorrer a partir de sementes colhidas do pomar de matrizes.

O uso da estaquia de erva-mate como técnica de produção de mudas em larga escala pode se constituir em uma alternativa viável para produzir mudas capazes de conferir elevada produtividade e qualidade aos futuros plantios, a partir da seleção e multiplicação de indivíduos superiores. Uma vez que, neste método mantém-se o genótipo selecionado, e consequentemente as características de interesse (HIGA, 1983; QUADROS, 2009; HETTWER, 2013).

Os protocolos de estaquia formulados para a erva-mate têm representado inúmeras limitações para a escala comercial, como métodos ineficientes de rejuvenescimento de material adulto, desenvolvimento das técnicas de manejo do ambiente de propagação, manejo das estacas pós-enraizadas em relação à nutrição e necessidade de transplante (WENDLING, 2004). Os trabalhos até então desenvolvidos com estaquia de erva-mate,

geralmente, utilizam como substrato de enraizamento materiais praticamente inertes, com excelentes características de arejamento e baixa densidade, como a casca de arroz carbonizada e a vermiculita, sob condições de frequente irrigação por nebulização. Porém, após o enraizamento, é necessário transplantar as mudas para outros recipientes contendo um substrato que propicie o desenvolvimento das mesmas, com adequada composição nutricional. Esse processo, além de aumentar os custos de produção com mão-de-obra, provoca um estresse às estacas enraizadas, que podem apresentar alta porcentagem de mortalidade.

Neste cenário é fundamental, entre tantas possibilidades de pesquisa, desenvolver tecnologias para a produção de mudas clonais, a partir da seleção de plantas matrizes que apresentem características superiores, destacando-se a estaquia como uma alternativa de relativo baixo custo e de fácil execução. Ainda, a definição de substratos que possibilitem, concomitantemente, um eficiente enraizamento das estacas e desenvolvimento das mudas.

A hipótese desse trabalho foi, portanto, de que existem genótipos altamente produtivos de erva-mate da cultivar Cambona 4, com alta capacidade de formação de raízes adventícias, capazes de se tornarem matrizes para a propagação vegetativa; e que seja possível desenvolver uma mistura que propicie um adequado enraizamento das estacas e desenvolvimento das mudas até seu plantio no campo, sem a necessidade de transplante prévio.

O objetivo desta pesquisa foi avaliar o potencial de enraizamento por estaquia de oito genótipos de erva-mate da cultivar Cambona 4, com capacidade produtiva superior, em diferentes combinações de casca de arroz carbonizada e substrato comercial a base de casca de pinus e fibra de coco.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Características botânicas da erva-mate

A erva-mate é adaptada ao sub-bosque da Floresta Ombrófila Mista, também chamada de Mata com Araucárias, no Bioma Mata Atlântica. Pertence à família Aquifoliaceae, com ocorrência natural nos estados da região Sul do Brasil, no Mato Grosso do Sul e nos países vizinhos: Argentina e Paraguai. Quando cultivada sua altura varia de 2 a 5 m, com ampla ramificação. Se não manejada, possui tronco cilíndrico, pouco tortuoso, com fuste que pode atingir 11 m de comprimento. A casca externa é cinza clara ou acastanhada, persistente, áspera à rugosa, com lenticelas abundantes, formando linhas longitudinais e com presença de cicatrizes transversais. A casca interna possui cor branco-amarelada que, após incisão, oxida rapidamente em contato com o ar (CARVALHO, 2003).

Espécie perenifólia, apresenta filotaxia alterna, com folhas simples, geralmente estipuladas, subcoriáceas até coriáceas, glabras, bicolor, limbo foliar obovado, normalmente com 5 cm a 10 cm de comprimento por 3 cm a 4 cm de largura; margem irregularmente serrilhada ou denteada, mas no terço da base geralmente lisa, ápice obtuso, pecíolo relativamente curto, com 7 mm a 15 mm de comprimento (CARVALHO, 2003).

A floração ocorre, comumente, entre setembro a dezembro, com flores pequenas, tetrâmeras, com corola de coloração branca, pedunculadas, agrupadas em cimeiras fasciculares nas axilas das folhas. Possuem uma característica especial, pois ainda que em todas as plantas se encontrem estames e pistilos, nas pistiladas (femininas) os estames são rudimentares, chamados de estaminódios, e nas estaminadas (masculinas), o pistilódio não é capaz de formar semente, o que a torna uma espécie dióica, necessitando fecundação cruzada, com polinização predominantemente entomófila (WENDLING; SANTIN, 2015). O ciclo reprodutivo, nas plantas de origem seminal, normalmente se inicia em plantas com 5 anos de idade, e aos 2 anos em plantas propagadas vegetativamente. Os frutos amadurecem, geralmente, entre dezembro e março, e

consistem numa drupa globosa de 4 a 6 mm de diâmetro, tetralocular, de superfície lisa, de cor violácea a quase preta quando maduros, com 4 sementes e polpa mucilagínosa. A disseminação dos frutos é majoritariamente ornitócora. No endocarpo, está aderida internamente a semente, com tegumento duro, castanho claro, forma variável e endosperma carnoso (CARVALHO, 2003). Fowler e Sturion (2000) verificaram que mais de 70% dos embriões nas sementes de erva-mate apresentam-se no estágio de coração, mesmo após o amadurecimento dos frutos, demonstrando a grande porcentagem de embriões rudimentares, como sendo uma das causas da baixa e desuniforme germinação das sementes de erva-mate.

2.2 Aspectos sócio-econômicos da cultura da erva-mate

A erva-mate constitui um dos principais produtos não madeireiros explorados na região sul do Brasil, dada a sua ocorrência natural e as questões culturais. Da infusão de suas folhas e com o devido processamento, são preparados o chimarrão e o chá-mate, duas bebidas tradicionais dos países vinculados ao Mercado Comum do Sul (OLIVEIRA; WAQUIL, 2015).

A história da cultura é marcada pela instabilidade de mercado, com momentos de remoção de ervais no Brasil, principalmente na década de 70, com o crescimento das lavouras de grãos, e também mais tarde, devido às baixas de preço. Atualmente é uma importante fonte de renda de pequenas e médias propriedades. Possui extensa cadeia produtiva, formada por agricultores e tarefeiros (trabalhadores que realizam a colheita), indústrias e fornecedores de insumos e equipamentos. No ano de 2012 foi criada a Câmara Setorial Estadual de Erva-mate no Estado do Rio Grande do Sul, com o objetivo de identificar oportunidades para o desenvolvimento da cadeia produtiva, definir, orientar e discutir políticas, estratégias e diretrizes do setor (RIO GRANDE DO SUL, 2012).

A área cultivada de erva-mate, em 2015, chegou a 98.709 hectares, proporcionando uma produção de 602.899 toneladas de folhas verdes, com um valor de produção de R\$ 579 milhões, que é a produção obtida multiplicada pelo preço recebido pelos produtores (preço unitário). O Rio Grande do Sul é o Estado que mais contribui para estes valores, uma vez que é o maior produtor de folhas verdes em ervais plantados, com uma produção, em 2015, de 292.386 toneladas, seguido pelo Paraná, que atingiu uma

produção de 217.851 toneladas, e Santa Catarina, com 91.349 toneladas. Os municípios que mais produzem erva-mate cultivada são Ilópolis e Arvorezinha, no Rio Grande do Sul (IBGE, 2015a).

As áreas de colheita que não foram plantadas, neste caso consideradas de origem extrativista, sendo a erva-mate produzida chamada comumente de erva-mate “nativa”, o valor de produção atingiu cerca de R\$ 400 milhões. A erva-mate nativa ocorre em apenas quatro Unidades da Federação, sendo o maior produtor o Estado do Paraná, com 86,4% da quantidade produzida, que em 2015 foi de 338,8 mil toneladas. Os Estados de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul completam a lista dos produtores. Com exceção de Fontoura Xavier (RS) e Guatambu (SC), os demais municípios que compõem a lista dos 20 maiores produtores são paranaenses, sendo São Mateus do Sul, Cruz Machado e Bituruna os principais produtores (IBGE, 2015b).

As exportações brasileiras de erva-mate são destinadas em mais de 87,9% ao mercado do Uruguai. Entretanto, apesar da variação de quantidade e frequência, grandes volumes também seguem com destino ao Chile, EUA, Alemanha, França, Turquia, entre outros. Considerando o período entre 1997 e 2015, é verificado um Índice de Crescimento Anual (ICA) médio de 1,5% nas exportações brasileiras, com seu auge em 2013, com o total de 38.009 toneladas exportadas para 34 países (RIO GRANDE DO SUL, 2017).

2.3 Cultivar Cambona 4

O desenvolvimento da cultivar de erva-mate Cambona 4 foi resultado do “saber local” de um produtor, com posterior intervenção da pesquisa agrônômica (CORREA et al., 2011). Segundo informação verbal de familiares, por volta dos anos 80, o agricultor Teodoro Mendes da Fonseca percebeu em sua propriedade rural, localizada em Machadinho, nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, que uma planta de erva-mate se destacava em relação às outras do erval, pela velocidade de desenvolvimento, brotação e recuperação após a poda e pela alta produtividade. Como possuía em sua propriedade um “barbaquá”, que era uma construção de alvenaria rústica, onde se produzia a erva-mate, realizou a colheita das folhas desta planta e produziu uma erva-mate que apresentou um sabor mais suave. Após esta experiência, utilizando a mão-de-obra familiar, o produtor passou a produzir mudas a partir das sementes desta planta, que é a matriz pistilada

(feminina) da cultivar Cambona 4, para implantar em sua propriedade, por volta de 1990, um erval com mudas produzidas a partir desta única matriz.

Para confirmar a informação de que a erva-mate produzida por estas plantas conferia um sabor mais suave ao chimarrão, no ano de 1998 foram aplicados 68 questionários. Destes, 57% dos respondentes caracterizaram a erva-mate Cambona 4 com qualidade superior, ou seja, produzia um chimarrão mais suave, valorizado pelo mercado interno (CORREA et al., 2011).

Para a implantação de um pomar de coleta de sementes da Cambona 4, foi necessário, previamente, identificar a planta estaminada (masculina) que participava com maior porcentagem na polinização das flores na matriz pistilada (feminina). O procedimento foi a coleta de material genético de quatro plantas masculinas localizadas próximas da planta feminina, e 125 plantas do erval de F1 de Cambona 4. Identificado o polinizador preponderante, os demais foram eliminados, e produzidos clones por estaquia de ambos os parentais, que foram plantados próximo aos mesmos, estabelecendo o pomar de sementes bi-clonal (CORREA et al., 2011).

Em relação à produtividade dos ervais da cultivar Cambona 4, em Machadinho atingiu média de 585 arrobas/ha (8.775 kg), em colheitas anuais, em plantas de 4 aos 9 anos de idade (CORREA et al., 2011). Para efeito de comparação, o rendimento médio de erva-mate no Brasil, no ano de 2015 foi de 6.350 kg/ha (IBGE, 2015a), demonstrando a alta produtividade da cultivar, já a partir dos 4 anos após o plantio.

A Cambona 4 ultrapassou todas as expectativas iniciais dos pesquisadores, por agregar virtudes como suavidade de bebida, alta herdabilidade, velocidade de rebrote, alta produtividade e boa germinação das sementes (MELO, 2010). A cultivar foi, no ano de 2014, registrada no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, no Registro Nacional de Cultivares, pela Associação de Produtores de Erva-mate de Machadinho (Apromate), e é a primeira progênie bi-parental de erva-mate do Brasil, projeto pioneiro que contribuiu para o melhoramento genético da cultura da erva-mate.

2.4 Propagação da erva-mate

2.4.1 Propagação sexuada

A produção de mudas de erva-mate pode ser realizada a partir de sementes ou estacas (CARVALHO, 2003; FOWLER; STURION, 2000). Produzir mudas a partir de sementes de erva-mate é um processo complexo e oneroso, pelo fato de as sementes serem imaturas após o amadurecimento dos frutos, resultando em uma germinação desuniforme, necessitando prévio conhecimento e experiência para a produção das mudas (WENDLING, 2004). Entretanto, a produção de mudas é majoritariamente realizada a partir de sementes, principalmente devido ao domínio desta tecnologia de produção pelos produtores. A ocorrência de plantas que produzem poucas sementes e a baixa herdabilidade, a dificuldade para a quebra de dormência das sementes, o longo período de produção das mudas e a falta de critérios para a seleção de matrizes de qualidade têm constituído desvantagem à propagação sexuada da erva-mate (WENDLING; SANTIN, 2015).

Deve-se considerar que, na propagação por sementes, é maior a variabilidade genética entre as mudas produzidas devido à ocorrência do cruzamento, o que pode proporcionar maior amplitude adaptativa a determinados genótipos na nova geração, e também, pode gerar menor qualidade e uniformidade das plantas produzidas (XAVIER et al., 2013).

Em termos de qualidade de erva-mate e das sementes, devem-se priorizar as características fenotípicas de interesse da planta matriz, como a qualidade fisiológica, vigor, forma do tronco, tipo de folha e alta capacidade produtiva de folhas. A colheita das sementes deve ser realizada quando estas atingirem o ponto de maturação fisiológica, buscando sementes com o máximo poder germinativo e vigor. É recomendado realizar o processamento dos frutos até 3 dias após a coleta, com o objetivo de separar a polpa das sementes, através da ruptura mecânica sob a água, até que as sementes apresentem o mínimo de impurezas. Imediatamente após o beneficiamento e lavagem, deve ser preparada a estratificação, para superar a dormência das sementes, que consiste em colocar camadas intercaladas de semente e areia úmida por um período de cinco a seis meses, em uma caixa de madeira (WENDLING; SANTIN, 2015). Outro substrato

indicado para a estratificação das sementes é uma mistura de argila, solo orgânico, esterco e areia, na proporção de 3:1:1:1 (FOWLER; STURION, 2000).

O processo de estratificação é fundamental para se obter maior taxa de germinação, pois evita o dessecamento do tegumento das sementes, promove a redução da tensão de oxigênio e aumenta a tensão de gás carbônico no meio. Isso proporciona a superação de bloqueios mecânicos que impedem as trocas necessárias com o meio para que ocorra o desenvolvimento do embrião. Na erva-mate somente 0,9% das sementes apresentam embrião maduro com mais do que 1 mm na maturação dos frutos. A germinação é iniciada pelos embriões maduros, porém, devido o baixo índice de embriões maduros em frutos maduros, se deduz que a baixa porcentagem de germinação e sua lenta evolução estão relacionadas com o grau de desenvolvimento dos embriões (FOWLER; STURION, 2000).

O que ocorre com a erva-mate é que há interrupção de crescimento de embriões no estágio conhecido como coração, quando os frutos ainda estão ligados a planta mãe, consequência da presença de inibidores no endosperma e, possivelmente, nos próprios embriões. As sementes provenientes dos frutos brancos apresentaram, em presença e na ausência de luz, índices de crescimento dos embriões de 91,3% e 88,2%, respectivamente, sugerindo que os inibidores começam a se acumular no interior do fruto quando esses apresentam coloração branca ou rosa, evidenciado por seu crescimento, o que não aconteceu quando os frutos apresentavam coloração vermelha e preta (FOWLER; STURION, 2000).

A germinação das sementes estratificadas ocorre, geralmente, em torno de 30 e 60 dias após a sementeira, porém este tempo depende de diversos fatores, como época de coleta, tempo de estratificação, temperatura, luminosidade, umidade e substrato utilizado. Além disso, as condições da sementeira devem ser adequadas, visando obter maiores índices de germinação (WENDLING; SANTIN, 2015).

Quando as mudas atingem um porte de cerca de 3 cm, com 2 a 3 pares de folhas permanentes, é necessário realizar a repicagem, que consiste em transplantar as mudas com raiz nua para recipientes, geralmente tubetes ou sacos de polietileno, para que as mudas se desenvolvam até atingir o porte para serem plantadas no campo (STURION;

RESENDE, 2010). A prática da repicagem, se não feita corretamente, pode prejudicar a qualidade das mudas, pois é fundamental que as mudas não fiquem com as raízes enveladas, para não afetar o seu sistema radicial e conseqüentemente o desenvolvimento da planta (MEDRADO; MOSELE, 2004). As mudas completam o desenvolvimento para então serem plantadas no campo em torno de 4 meses após a repicagem.

A produção de mudas de erva-mate a partir de sementes apresenta uma série de limitações, como as destacadas acima, que contribuem para elevar o custo de produção, limitar e dificultar programas de melhoramento, além de resultar em mudas sem qualidade adequada que garanta um bom desenvolvimento das plantas, manutenção de características de interesse e a alta produtividade dos ervais (WENDLING; SANTIN, 2015).

2.4.2 Propagação vegetativa por estaquia

O processo de estaquia é um método de propagação vegetativa que utiliza segmentos caulinares, foliares ou radiculares, plantados em um substrato adequado, para propiciar o enraizamento e o desenvolvimento da parte aérea na produção de mudas (XAVIER et al., 2013). A seleção da matriz ocorre de acordo com a característica de interesse, que pode ser produtividade, qualidade, constituintes metabólitos, entre outros. É fundamental que a característica de interesse esteja ligada ao genótipo da planta matriz, para que as mudas obtidas por propagação clonal expressem as mesmas características (WENDLING; SANTIN, 2015). Além da vantagem da transmissão das características, o método de estaquia possibilita a multiplicação de plantas híbridas e de plantas resistentes a pragas e doenças (WENDLING, 2004).

O uso da estaquia de erva-mate como técnica de produção de mudas em larga escala pode se constituir em uma alternativa viável para produzir mudas capazes de conferir elevada produtividade e qualidade aos futuros plantios. Para tanto, se faz necessária a seleção e multiplicação de indivíduos superiores, já que neste método mantém-se o genótipo selecionado, e conseqüentemente as características de interesse (HIGA, 1983; QUADROS, 2009; HETTWER, 2013).

Dentre as desvantagens do processo de estaquia pode-se destacar o risco de estreitamento genético de plantios clonais, no caso de utilização de um número pequeno

de genótipos e o pouco potencial de enraizamento de algumas plantas. Além disso, o custo da produção em geral é mais elevado, devido ao aumento de tecnologia empregada e dificuldade de enraizamento em plantas não juvenis (WENDLING; SANTIN, 2015).

A formação de raízes ocorre em resposta ao traumatismo produzido pelo corte quando do preparo da estaca. Após o corte há a formação de uma capa de suberina, que reduz a desidratação na área danificada para fins de cicatrização. Geralmente na área lesionada ocorre a formação de uma massa de células parenquimatosas, que constituem um tecido cicatricial pouco diferenciado, denominado calo (FACHINELLO et al., 2005). A formação de calo indica condições favoráveis ao enraizamento, uma vez que as exigências são as mesmas. Comumente é relatada a formação de raízes a partir dos calos, porém a formação do calo e de raízes é independente (HARTMANN et al., 2002). As células meristemáticas adjacentes ao câmbio e ao floema iniciam a formação das raízes adventícias, dividida em fase de iniciação, caracterizada pela divisão celular, seguida pela fase de diferenciação das células num primórdio radicial, que resulta no crescimento da raiz adventícia (FACHINELLO et al., 2005).

Fatores internos determinam o enraizamento, como a condição fisiológica e a idade da planta matriz, a época do ano, o tipo de estaca, o potencial genético de enraizamento e o balanço hormonal. Além disso, fatores externos, como umidade, temperatura, luz, tipo de substrato, tratamento com fitorreguladores e lesão na base da estaca, também afetam o enraizamento (PAIVA; GOMES, 2005; FACHINELLO et al., 2005).

A formação de raízes adventícias deve-se à interação de fatores existentes nos tecidos e à translocação de substâncias, como os fitohormônios, em especial as auxinas. A auxina é sintetizada nas gemas apicais e folhas novas, de onde é translocada para a base da planta por um mecanismo de transporte polar. O ácido indolacético (AIA) é a auxina natural que ocorre nas plantas (FACHINELLO et al., 2005). Hartmann et al. (2002) destacam que os níveis de AIA nas plantas são variáveis, sendo afetados por fatores como a idade fisiológica do órgão e da planta, as condições ambientais e a parte da planta. Salienta que o AIB, embora menos abundante que o AIA, também é natural.

Os cofatores de enraizamento são substâncias de ocorrência natural que agem sinergicamente com as auxinas na indução do enraizamento. Sintetizados também em gemas e folhas jovens, em maior quantidade em estacas coletadas de plantas jovens, são transportados pelo floema (HARTMANN et al., 2002; FACHINELLO et al., 2005). Compostos fenólicos, como os monofenóis, e especialmente os difenóis, tem sido indicados como cofatores de enraizamento (GOULART et al., 2011).

Reservas abundantes de carboidratos correlacionam-se com maiores porcentagens de sobrevivência e enraizamento de estacas (FACHINELLO et al., 2005; WENDLING et al., 2013). A importância dos carboidratos está no fato de que a auxina requer uma fonte de carbono para a biossíntese dos ácidos nucléicos e proteínas para a formação das raízes (FACHINELLO et al., 2005). A presença de folhas e gemas nas estacas é importante para o estímulo do enraizamento, devido à produção de auxinas e fotoassimilados, garantindo o suprimento de energia (IRITANI; SOARES, 1981; HIGA, 1983; PAIVA; GOMES, 2005), e de cofatores de enraizamento (FACHINELLO et al., 2005).

Os protocolos de propagação clonal de erva-mate até então desenvolvidos apresentam limitações para sua adoção em escala comercial. Dentre os estudos já realizados com estaquia de erva-mate, tem-se obtido um percentual variável de enraizamento, desde 0 até 100% de enraizamento (TAVARES et al., 1992), justamente pela interferência de diversos fatores, como potencial de enraizamento do genótipo, tipo e padronização de estacas, idade e sexo das plantas matrizes, uso ou não de hormônio para estimular o enraizamento, altura dos ramos coletados na planta matriz, época do ano, dentre outros fatores. Outras limitações encontradas são métodos ineficientes de rejuvenescimento de material adulto, manejo do ambiente de enraizamento, substrato ideal, manejo das estacas após o enraizamento, técnica utilizada e sistema que não necessite de repicagem das estacas enraizadas para outro recipiente (WENDLING; SANTIN, 2015).

Sabe-se que a capacidade de enraizamento é altamente afetada pelo genótipo (CORREA, 1995), ou seja, o potencial de enraizamento é uma característica determinada pelo material genético e, neste caso, um fator que será expressado pelos seus clones. Em relação ao sexo da planta matriz, é de conhecimento que as plantas femininas apresentam maior capacidade de emissão de raízes adventícias, porém destaca-se que o fator mais

importante para a seleção deve ser as características de interesse que a planta matriz expressa (WENDLING; SANTIN, 2015).

Para se obter sucesso com a propagação vegetativa de erva-mate é fundamental o desenvolvimento de técnicas para rejuvenecimento do material adulto, pois sabe-se que plantas mais jovens apresentam uma maior capacidade de enraizamento (WENDLING; SANTIN, 2015). Em relação à patronização de estacas, diversos modelos já foram testados, porém, geralmente se utilizam estacas de ramos do ano, com um par de folhas reduzidas pela metade, em estacas de 10 a 15 cm (HIGA, 1982), cortadas em bisel (CORREA, 1995; GRAÇA et al., 1988; BITENCOURT et al., 2009; BRONDANI et al., 2009; SANTOS, 2011; HETTWER, 2013; TRES, 2016).

As pesquisas com estaquia de erva-mate, geralmente, fazem uso de reguladores de crescimento para promover a emissão das raízes adventícias nos propágulos, sendo que as doses de auxinas utilizadas em erva-mate são elevadas, em torno de 5.000 a 8.000 mg L⁻¹ (WENDLING; SANTIN, 2015; GRAÇA et al., 1988; BRONDANI et al., 2009; SANTOS, 2011; HETTWER, 2013; TRES, 2016). O ácido indolbutírico (AIB) é a auxina mais utilizada, e se mostrou mais eficiente em induzir a formação de calos e emissão das raízes nas estacas do que o ácido indolacético (AIA) (IRITANI; SOARES, 1981). SANTOS (2011) concluiu que a imersão das estacas em solução com 6.000 mg L⁻¹ de AIB favorece o enraizamento ou não prejudica, por isso recomendado para obter melhor enraizamento, dependendo do genótipo.

Em relação ao ambiente inicial de enraizamento, casas de vegetação equipadas com sistema de nebulização intermitente são ideais para o enraizamento de estacas com folhas (HIGA, 1983). A nebulização intermitente é fundamental para manter a umidade das folhas, diminuindo a pressão de vapor das mesmas, reduzindo a temperatura e a taxa de respiração, mantendo-as funcionais por maior tempo, o que pode ser decisivo no enraizamento de muitas espécies (HARTMANN et al., 2002). Em relação a recipientes para produção de mudas, Freitas et al. (2006) salientam que os tubetes apresentam uma série de vantagens, como a facilidade operacional, resultante da mecanização, redução do uso de mão-de-obra e melhores condições de trabalho, maximizando a produção.

No gênero *Eucalyptus*, a propagação vegetativa já é bastante utilizada, principalmente na técnica de miniestaquia, que prevalece. Este desenvolvimento tecnológico possibilitou o avanço da eucaliptocultura brasileira nas últimas décadas e consagrou a silvicultura clonal do eucalipto (XAVIER et al., 2013). Assim como ocorreu com o gênero *Eucalyptus*, é igualmente importante a ampliação de pesquisas e estabelecimento de testes clonais de erva-mate, com o objetivo de comparar o desenvolvimento de mudas clonais com mudas produzidas por sementes (WENDLING, 2004). Em estudo realizado por Santin et al. (2015), observou-se que as plantas produzidas a partir de miniestacas de erva-mate apresentaram maior produtividade aos 3 e 5 anos, em relação às plantas produzidas por sementes. Isto demonstra o avanço em produtividade e, conseqüentemente, em qualidade, pela seleção de indivíduos superiores quanto ao produto final que a propagação clonal da erva-mate pode trazer a cadeia produtiva.

2.5 Substratos de enraizamento

Dentre os diversos fatores que influenciam o enraizamento na propagação vegetativa por estaquia, a utilização de um substrato adequado, sem dúvida, é um fator chave. O substrato tem como função sustentar e permitir um bom suprimento de oxigênio e água para a base da estaca, proporcionando adequado desenvolvimento do sistema radicial (HARTMANN et al., 2002).

Diversos materiais estão disponíveis no mercado para produção de mudas, como por exemplo, substratos a base de casca de pinus e turfa, amplamente utilizados. Porém destaca-se hoje a baixa oferta de turfa, cuja principal desvantagem é o impacto ambiental, por se tratar de um material natural não renovável (KRATZ et al., 2015). Da mesma forma, a casca de arroz carbonizada vem sendo utilizada como componente de substratos após passar pelo processo de carbonização. É um resíduo relativamente de baixo custo, que apresenta baixa densidade e provoca um aumento na porosidade total, proporcionando maior drenagem e melhor aeração ao substrato, se constituindo em um importante aliado na sua estruturação física (COUTO et al., 2003).

O uso exclusivo de areia como substrato de enraizamento para a erva-mate demonstrou não ser adequado, sendo que a vermiculita apresenta o dobro de enraizamento

(GRAÇA et al., 1988). Assim, se faz necessário a confecção de misturas, sendo que a mistura de casca de arroz carbonizada com substrato comercial a base de casca de pinus e vermiculita tem sido a mais aconselhada para a estaquia de erva-mate (BRONDANI et al., 2007; BRONDANI et al., 2009; BITENCOURT et al., 2009), ou com fibra de coco (KRATZ et al., 2015).

Neste contexto, a fibra de coco se destaca pela não reação com os nutrientes da adubação, longa durabilidade sem alterações das características físicas, possibilidade de esterilização, abundância da matéria prima, renovável e de baixo custo. A grande percentagem de lignina (35-45%) e de celulose (23-43%), e a pequena quantidade de hemicelulose (3-12%), que é a fração prontamente atacada por microorganismos, conferem a este material uma grande durabilidade, sendo recomendável para cultivos de ciclo longo, como as ornamentais e florestais (CARRIJO et al., 2002). Essas características, de certa forma, podem potencializar o uso da fibra de coco como substrato na propagação vegetativa de espécies florestais, sendo de fundamental importância a realização de estudos que abordem esse assunto (BRONDANI et al., 2007).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Condições experimentais

A estaquia foi realizada na Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária (FAMV) da Universidade de Passo Fundo (UPF), na cidade de Passo Fundo, Rio Grande do Sul. O experimento foi conduzido em estufa agrícola revestida de polietileno de baixa densidade com 150 µm de espessura, dotado de aditivo antiultravioleta, sem cortinas laterais. Tela do tipo sombrite, com capacidade de 75% de sombreamento, revestiam as laterais da estufa e também foram instaladas horizontalmente na parte interna, a 2,5 m de altura, para minimizar os efeitos da temperatura e da insolação. O sistema de irrigação por nebulização, do tipo intermitente, era acionado a cada 8 minutos, durante 10 segundos.

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

Foi estudada a propagação por estaquia de oito genótipos de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) da cultivar Cambona 4 em cinco combinações de substratos utilizando casca de arroz carbonizada (CAC) e substrato comercial a base de casca de pinus e fibra de coco (SC), constituindo os seguintes tratamentos: **S1**: 100% CAC; **S2**: 75% CAC + 25% SC; **S3**: 50% CAC + 50% SC; **S4**: 25% CAC + 75% SC; **S5**: 100% SC. A estaquia foi realizada em tubetes plásticos de 46,5 mm x 46,5 mm x 140 mm (140 cm³), acondicionados em bandejas plásticas de 96 tubetes (Figura 1).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com os tratamentos arranjados no esquema fatorial 8 x 5 (8 genótipos x 5 substratos), com quatro repetições e doze estacas por parcela.

Figura 1 – Vista geral do experimento destacando a estaquia em tubetes e a manutenção de duas meias folhas por estaca. Passo Fundo, RS, 2017



3.3 Material vegetal e procedimentos

Os oito genótipos de Cambona 4 foram selecionados em um erval comercial por se destacarem pelo porte, elevada produção de folhas e excelente estado fitossanitário. A coleta ocorreu em plantas com idade entre 20 e 25 anos, plantadas na mesma propriedade onde foi descoberta a Cambona 4, coordenadas 27°38'21.85" S e 51°35'27.10" O, altitude de 757 m, localizado no município de Machadinho, Rio Grande do Sul. Imediatamente após a coleta, os ramos foram umedecidos e armazenados em sacos plásticos. Finalizada a coleta, os ramos foram armazenados na geladeira até a desinfestação. Neste procedimento, as estacas eram mantidas submersas durante 5 minutos em solução de hipoclorito de sódio 0,5% e, em seguida, lavadas em água corrente.

As plantas haviam sido podadas de forma drástica há cerca de um ano antes, por ocasião da colheita. Estacas semilenhosas coletadas nos segmentos apicais dos ramos foram padronizadas com cerca de 12 cm de comprimento e mantidas com um par de folhas cortadas pela metade. As estacas foram mantidas em caixas térmicas para o seu transporte até a casa de vegetação, onde tiveram a extremidade basal cortada em bisel e

imersas (4 cm) em solução de 6.000 mg L⁻¹ de AIB durante 10 segundos. Imediatamente após o tratamento foi realizada a estaquia, na profundidade em torno de 4 cm.

3.4 Variáveis analisadas

A estaquia foi realizada em 24 de janeiro de 2017 e, após 90 dias, foi determinada a porcentagem de retenção foliar, de sobrevivência, de brotação e comprimento da brotação, de enraizamento, de estacas vivas não enraizadas, de estacas com presença de calo, comprimento das três maiores raízes e a massa fresca de raízes. As cinco misturas de substrato foram analisadas quanto as suas propriedades físicas e químicas.

3.5 Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise da variância e as diferenças entre médias comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro, utilizando o software Assistat 7.7 (SILVA; AZEVEDO, 2016). Também foi calculado o coeficiente de correlação de Pearson entre porcentagem de retenção foliar e de enraizamento, utilizando o software Microsoft Excel 2010, o qual também foi utilizado para confecção dos gráficos

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Propriedades físicas e químicas dos substratos

A adição do substrato comercial (SC) a base de casca de pinus e fibra de coco ao substrato casca de arroz carbonizada (CAC) promoveu diminuição do pH em água (Tabela 1), principalmente quando contendo 50% ou mais de SC. Por sua vez, houve um aumento gradual, de acordo com a elevação da porcentagem de SC, da capacidade de troca catiônica (CTC), do teor de matéria orgânica (MO) e das concentrações de fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg). O teor de enxofre (S) foi maior quando utilizado o substrato comercial, mas praticamente não diferiu em razão da porcentagem de SC utilizada na mistura. O teor de potássio (K) não diferiu entre os substratos testados.

A concentração de íons hidrogênio (pH) é uma propriedade importante, pois afeta o crescimento das raízes, que é normalmente favorecido em substratos levemente ácidos, com valores de pH entre 5,5 e 6,5, influenciando também na disponibilidade de nutrientes para as plantas (TAIZ; ZEIGER, 2013). Verifica-se na Tabela 1 que somente o substrato S2 (75CAC/25SC) apresentou pH dentro desta faixa. Os demais substratos contendo SC apresentaram pH de 4,4 a 4,6, devido a maior concentração de matéria orgânica presente no substrato comercial. Os principais fatores que reduzem o pH são a decomposição da matéria orgânica e a quantidade de água. O dióxido de carbono produzido a partir da decomposição da matéria orgânica reage com a água, produzindo íons hidrogênio, que reduz o pH do meio (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Os teores de nutrientes presentes em todos os substratos testados, em especial naqueles contendo porcentagens de substrato comercial, são classificados como muito altos ou altos, de acordo com as recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo, da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS, 2004). A Comissão considera

para definir quando o teor é muito alto em um solo o mínimo de 42, 180 e 5 mg/dm³ de P, K e S, respectivamente, e alto teores para Ca e S valores > 4,0 e 1,0 cmol_c/dm³, respectivamente.

Tabela 1 - Análise química (valores absolutos) de cinco substratos combinando diferentes porcentagens de casca de arroz carbonizada (CAC) e substrato comercial (SC) a base de casca de pinus e fibra de coco. Passo Fundo, RS, 2017

Substratos	pH	CTC (cmol _c /dm ³)	MO (%)	P	K	S	Ca	Mg
	H ₂ O							
S1 (100% CAC)	6,8	5,4	4,0	68,8	1133	33,0	0,9	0,5
S2 (75% CAC+ 25% SC)	6,2	12,1	>6,7	183,1	977	429,0	3,7	2,8
S3 (50% CAC+50% SC)	4,6	20,5	>6,7	235,0	1097	478,0	6,1	4,7
S4 (25% CAC+75% SC)	4,4	31,8	>6,7	259,7	977	449,0	9,2	6,4
S5 (100% SC)	4,4	38,4	>6,7	264,9	1061	466,0	11,2	7,2

pH: potencial hidrogeniônico; CTC: capacidade de troca de cátions (pH=7,0); MO: matéria orgânica; P: fósforo; K: potássio; Ca: cálcio; Mg: magnésio; S: enxofre

A densidade dos substratos testados (Tabela 2) aumentou com a adição de maior porcentagem de SC. A CAC (S1) apresentou densidade 24,1% menor que o SC (S5). No substrato S2 (75% CAC/25% SC) a densidade se apresentou 10,5% maior em relação à CAC. A variação entre os substratos quanto à densidade dos sólidos foi pouco expressiva, revelando maior valor apenas o S5 (100% SC).

A porosidade total e de aeração (Tabela 2) dos substratos foi reduzida proporcionalmente com o aumento da porcentagem de SC presente, alcançando, na comparação do S5 (100% SC) com o S1 (100% CAC), redução de 5,4% na porosidade total e de 11,7%, 32,3% e 30,4% na porosidade de aeração, a 10 cm, 50 cm e 100 cm, respectivamente. Por sua vez, os substratos com presença de SC apresentaram aumento de 5,2% a 22,8% na água disponível, dependendo da proporção de SC, em comparação com o S1, e também maior volume de água residual, que aumentou com a maior porcentagem de SC.

Tabela 2 – Densidade, densidade dos sólidos, porosidade de aeração, água disponível e água residual de cinco substratos combinando diferentes porcentagens de casca de arroz carbonizada (CAC) e substrato comercial (SC) a base de casca de pinus e fibra de coco. Passo Fundo, RS, 2017

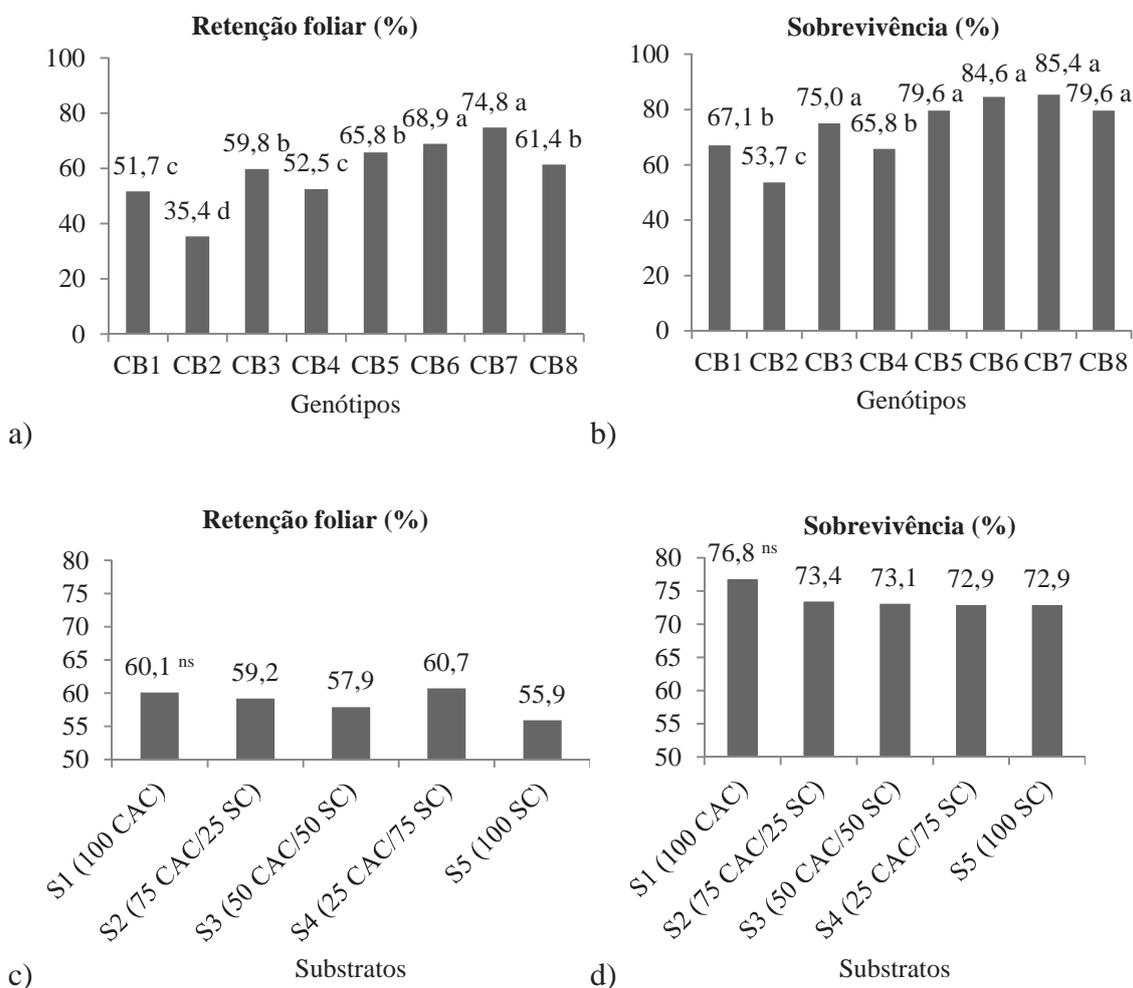
Substratos	Densidade	Densidade dos sólidos	Porosidade total	Porosidade de aeração			Água disponível (10-50 cm)	Água residual (50-100 cm)
	(kg/m ³)	(kg/m ³)	(m ³ /m ³)	10 cm (1kPa)	50 cm (5kPa)	100 cm (10kPa)	(m ³ /m ³)	(m ³ /m ³)
S1 (100% CAC)	220	1456	0,849	0,582	0,858	0,864	0,276	0,006
S2 (75% CAC+25% SC)	246	1467	0,832	0,421	0,748	0,758	0,327	0,010
S3 (50% CAC+50% SC)	262	1456	0,820	0,394	0,685	0,700	0,291	0,014
S4 (25% CAC+75% SC)	275	1458	0,812	0,294	0,631	0,646	0,337	0,015
S5 (100% SC)	290	1474	0,803	0,265	0,581	0,601	0,316	0,021

4.2 Retenção foliar e sobrevivência das estacas

Ao final dos 90 dias de estaquia, diferenças significativas ($p < 0,01$) foram verificadas entre os genótipos de Cambona 4 na retenção foliar e sobrevivência das estacas.

A maior capacidade de retenção foliar (Figura 2a) foi apresentada pelas estacas dos genótipos CB6 e CB7, entre 68,9% e 74,8%, seguidos de CB3, CB5 e CB8, e menor pelo genótipo CB2 (35,4%). Com relação à sobrevivência (Figura 2b), constata-se que os mesmos genótipos que apresentaram maior retenção foliar (CB3, CB5, CB6, CB7 e CB8) apresentaram maior porcentagem de estacas vivas, entre 75% e 85,4%. Esses resultados podem ser considerados muito satisfatórios, tendo em vista que uma das maiores dificuldades enfrentadas na estaquia da erva-mate é a manutenção das folhas, que se mostra extremamente correlacionada com a sobrevivência das estacas, porque auxiliam na sustentação metabólica da estaca (fotoassimilados) e contribuem com a produção de auxinas e cofatores, fundamentais para que o enraizamento ocorra.

Figura 2 - Efeito de genótipos e substratos na porcentagem de retenção foliar (a e c) e sobrevivência (b e d) de estacas de erva-mate cultivar Cambona 4. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Scott-knott a 5% de probabilidade de erro. ^{ns} – não significativo pelo teste F. C.V. = 24,60% (retenção foliar); C.V. = 20,74% (sobrevivência)



Em trabalho realizado por Tres (2016), com a estaquia de 30 genótipos de erva-mate, no qual as estacas foram tratadas com 8.000 mg L^{-1} de AIB, também foi constatada diferenças significativas na capacidade de retenção foliar e sobrevivência entre os genótipos. Após 120 dias, onze genótipos se destacaram com retenção foliar entre 76,0% e 88,5%, semelhante ao observado nos genótipos CB6 e CB7, enquanto as menores taxas se mantiveram entre 15,6% e 43,8%. As maiores porcentagens de sobrevivência foram de 89,6% e 97,9%, mas em 22 genótipos foi superior a 72,9%, concordando com os melhores resultados obtidos neste trabalho. Desta forma, a permanência das folhas foi fundamental

para a sobrevivência das estacas, confirmada pela elevada correlação (Pearson $r = 0,93$) obtida. Esta situação confirma que as folhas dão continuidade à produção de fotoassimilados, o que auxilia para o metabolismo, bem como o fornecimento de auxinas e cofatores, auxiliando o processo de enraizamento. Santos (2011) e Hettwer (2013) também verificaram a importância da presença de folhas nas estacas para a sobrevivência, e que para alguns genótipos de erva-mate o uso do AIB pode ter causado efeito fitotóxico, elevando a queda de folhas e mortalidade.

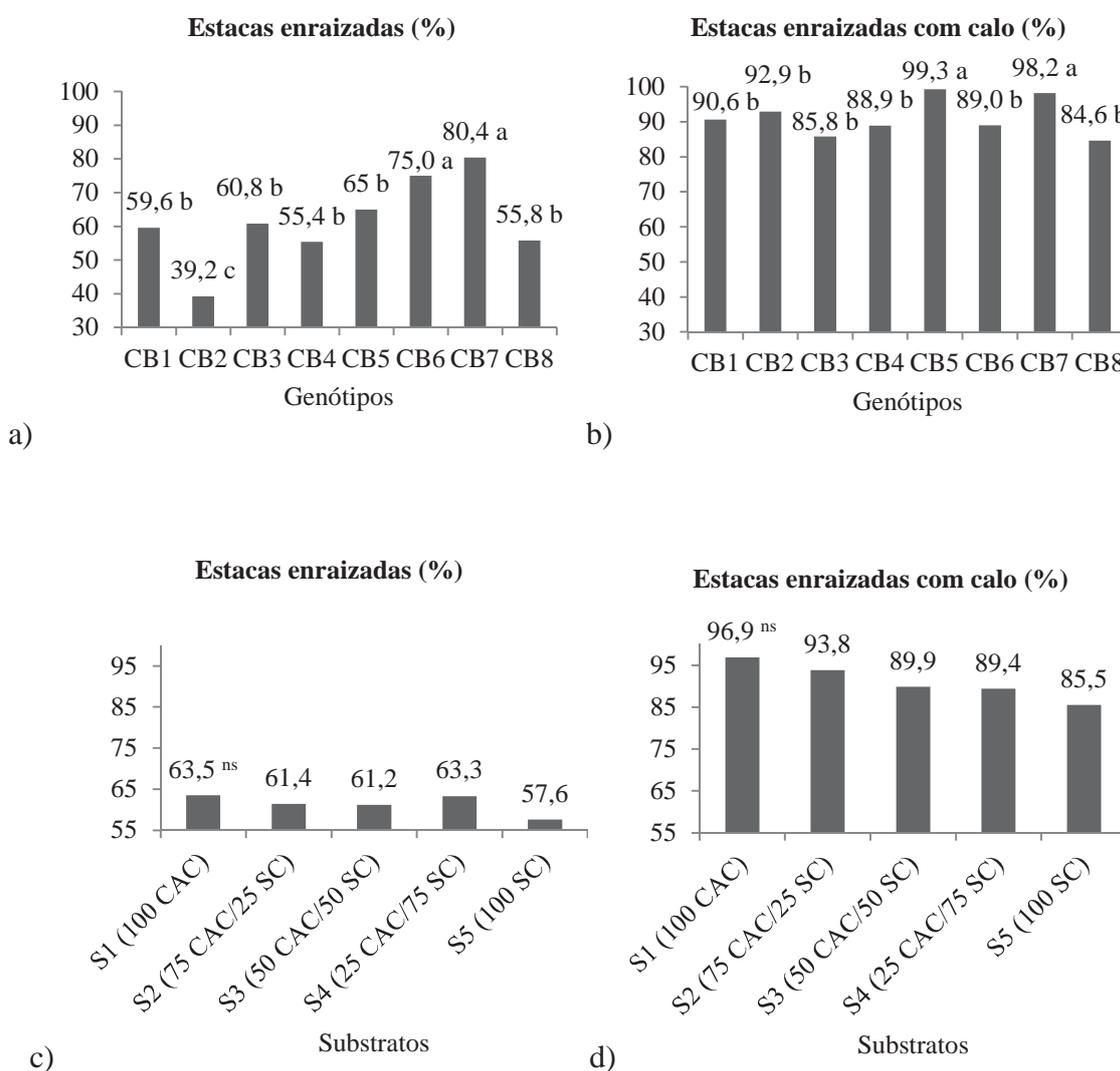
Quanto à retenção foliar e sobrevivência, não houve diferenças significativas pelo efeito dos substratos (Figuras 2c e 2d). As médias alcançadas nestas variáveis foram de 58,8 % e 73,8%, respectivamente. Isso demonstra a satisfatória capacidade de adaptação das estacas de Cambona 4 aos substratos testados, com diferentes densidades, porosidades e características químicas, mesmo submetidas à irrigação com elevada frequência. Kratz et al. (2015), em experimento com miniestaquia de erva-mate, avaliando a viabilidade técnica da utilização de nove substratos formulados com combinações de casca de arroz carbonizada (CAC), fibra de coco (FC), vermiculita média (VM) e substrato comercial à base de casca de pínus semidecomposta (SC) na formulação de substratos para produção de mudas de erva-mate, também não verificaram diferenças quanto à sobrevivência aos 90, 105 e 135 dias, com médias de 75%, 62% e 59%, respectivamente, similar aos dados obtidos no presente trabalho.

4.3 Enraizamento e formação de calo nas estacas

Houve diferenças significativas ($p < 0,01$) entre os genótipos na porcentagem de enraizamento das estacas e, dentre as enraizadas, também para a presença de calo. A taxa de enraizamento (Figura 3a) foi superior nos genótipos CB6 e CB7 (75% e 80,4%, respectivamente), e menor no CB2 (39,2%). Os demais genótipos não diferiram entre si, com porcentagens variando entre 55,8% e 65%. A constatação é de que a erva-mate Cambona 4, majoritariamente, forma calo antes ou concomitantemente com a emissão das raízes, visto que acima de 84,5% das estacas enraizadas apresentaram calo (Figura 3b), com destaque para os genótipos CB5 e CB7 (acima de 98,2%). Também para essas variáveis não houve efeito significativo dos substratos (Figuras 3c e 3d), sendo que as médias foram de 61,4 % para estacas enraizadas e 91,1% para estacas enraizadas com

calo. Porém, os dados evidenciam uma tendência de redução, principalmente na formação de calo, com o aumento da porcentagem de SC.

Figura 3 - Efeito de genótipos e substratos na porcentagem de estacas enraizadas (a e c) e porcentagem de estacas enraizadas com calo (b e d) de erva-mate, cultivar Cambona 4. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. ^{ns} – não significativo pelo teste F. C.V. = 25,95% (estacas enraizadas); C.V. = 15,66% (estacas enraizadas com calo)

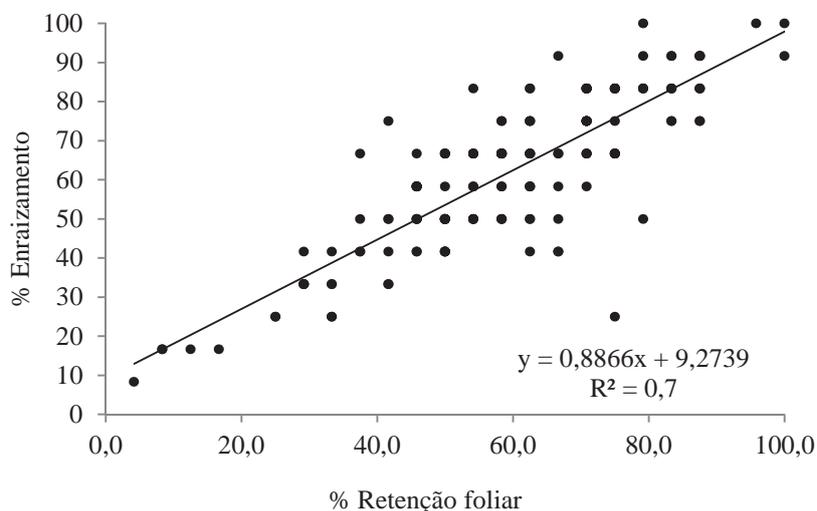


Hettwer (2013), avaliando genótipos de Cambona 4 e o uso ou não de AIB obteve percentuais de 0% a 52,6%. O melhor resultado alcançado foi similar ao obtido nos genótipos CB1, CB3, CB4, CB5 e CB8 deste trabalho.

A variabilidade entre plantas de erva-mate na capacidade de enraizamento é relatada por vários autores, variando em função da genética das plantas, idade (juvenilidade), época de estaquia, uso de AIB, técnica empregada, entre outros fatores. Por exemplo, Tavares et al. (1992) obtiveram enraizamentos variando de 0 a 100%. Sturion & Resende (1997), avaliando trinta plantas, alcançaram percentuais entre 1,1% a 60,1%. Santos (2011) obteve enraizamentos entre 5,7% e 63,7%, variando entre genótipos, estações do ano e tratamento ou não com AIB. Tres (2016), estudando 30 genótipos, obteve taxas de 2,1% a 85,4% de enraizamento. Stuepp et al. (2017) conseguiram taxas de 1,3% a 87,5%, dependendo da idade das plantas, da estação do ano e da dose de AIB.

A importância da retenção foliar no enraizamento das estacas foi possível ser constatada ao verificar uma forte correlação (Pearson $r^2 = 0,7$), linear e positiva, entre as duas variáveis (Figura 4), concordando com Tarrago et al. (2005), que também verificaram a existência dessa correlação ($r^2 = 0,72$), fato atribuído ao suprimento proporcionado pelas folhas de auxina e nutrientes. A necessidade da presença de folhas foi também observada por Tavares et al. (1992), ao obter 50% de enraizamento com um par de folhas pela metade e, na ausência de folhas, enraizamento nulo. Quadros (2009) relata que a ausência de folhas afeta negativamente o enraizamento de estacas de erva-mate. Conforme Lima et al. (2011), com a queda das folhas pode ocorrer um déficit de carboidratos, pois as reservas armazenadas não seriam suficientes, ou não foram transportadas em tempo hábil, para que ocorresse o enraizamento.

Figura 4 - Diagrama de dispersão do modelo linear entre a porcentagem de retenção foliar e de enraizamento de estacas de genótipos de erva-mate 'Cambona 4' em diferentes substratos. Passo Fundo, RS, 2017



As Figuras 5a e 5c apresentam o enraizamento obtido no genótipo CB7 e a Figura 5b a formação de calo na base das estacas.

Existem dois padrões anatômicos da formação de raízes, que são: formação direta e indireta, com formação de calo. A formação das raízes seguindo um padrão ou outro depende da espécie, das condições fisiológicas e do estágio de desenvolvimento. Algumas espécies podem apresentar ambos os padrões, dependendo da fisiologia, condições ou estado de desenvolvimento. No padrão de formação direta da raiz, ocorre a existência de células de formação de raízes competentes que, após a indução, começam a se dividir, levando à formação dos primórdios radiciais, frequentemente associadas ao tecido vascular. O padrão indireto da formação das raízes envolve um estado inicial não competente, ou seja, as células inicialmente são incapazes de responder aos sinais de indução, e após a indução ocorrem divisões celulares, levando ao desenvolvimento de calo (GENEVE, 1991). Os resultados demonstraram que, acima de 84,6% das estacas enraizadas apresentaram formação de calo (Figura 3), restando a dúvida se as estacas vivas não enraizadas, mas que em sua maior parte apresentavam formação de calo, emitiriam raízes adventícias permanecendo maior tempo na casa de vegetação, uma vez que as células já se encontravam em processo de diferenciação.

Figura 5 – Estacas enraizadas do genótipo CB7 (a); formação de calo na base das estacas (b); e conjunto de estacas do genótipo CB7 de erva-mate cultivar Cambona 4. Passo Fundo, RS, 2017



Stuepp et al. (2017), comparando o enraizamento de estacas de ramos coletados em plantas com 12 anos e mais de 80 anos, afirma que a alta porcentagem de formação de calo é um indicativo da maior maturação do material usado uma vez que as maiores porcentagens de formação de calo foram observadas no outono, em estacas provenientes de plantas com mais de 80 anos. Além disso, o outono foi uma das estações que apresentou as maiores porcentagens de enraizamento das plantas plantas mais novas. Esses resultados sustentam a hipótese de que a formação de calos prejudica o enraizamento de estacas de erva-mate, indicando que a rizogênese é direta, sem a dependência da formação anterior de calo.

A erva-mate é uma espécie florestal de difícil propagação a partir de propágulos adultos (WENDLING, et al., 2007; BRONDANI et al., 2008). Porém, os índices de enraizamento de estacas de erva-mate podem ser melhorados tanto geneticamente, pela seleção dos indivíduos com maior capacidade de enraizamento, como ambientalmente, com ajustes nas técnicas de enraizamento (CORREA, 1995), sendo de fundamental importância a utilização de um substrato adequado.

A capacidade de enraizamento das estacas de erva-mate é uma característica fortemente afetada pelo genótipo da planta matriz (CORREA, 1995), como foi possível verificar com os dados apresentados neste experimento. Dessa forma, ao selecionar genótipos de interesse, seja por apresentar alta produtividade, sabor diferenciado, quantidade distinta de metabólitos secundários, como presença ou ausência de cafeína, por exemplo, é fundamental, para que se tornem matrizes para a produção de mudas clonais em maior escala, que apresentem grande capacidade para a formação de raízes adventícias, preferencialmente acima de 70%.

A propagação vegetativa tem permitindo a reprodução de árvores geneticamente superiores com alta maturação fisiológica (PIJUT et al., 2011; WENDLING et al., 2014). A satisfatória porcentagem de enraizamento obtida em alguns genótipos, como CB6 e CB7 (75% e 80,4%, respectivamente), mesmo coletadas as estacas de plantas com mais de 20 anos de idade, possivelmente teve a contribuição do sistema de colheita, com poda drástica, realizada cerca de um ano antes, que pode ter estimulado a emissão de ramos rejuvenescidos.

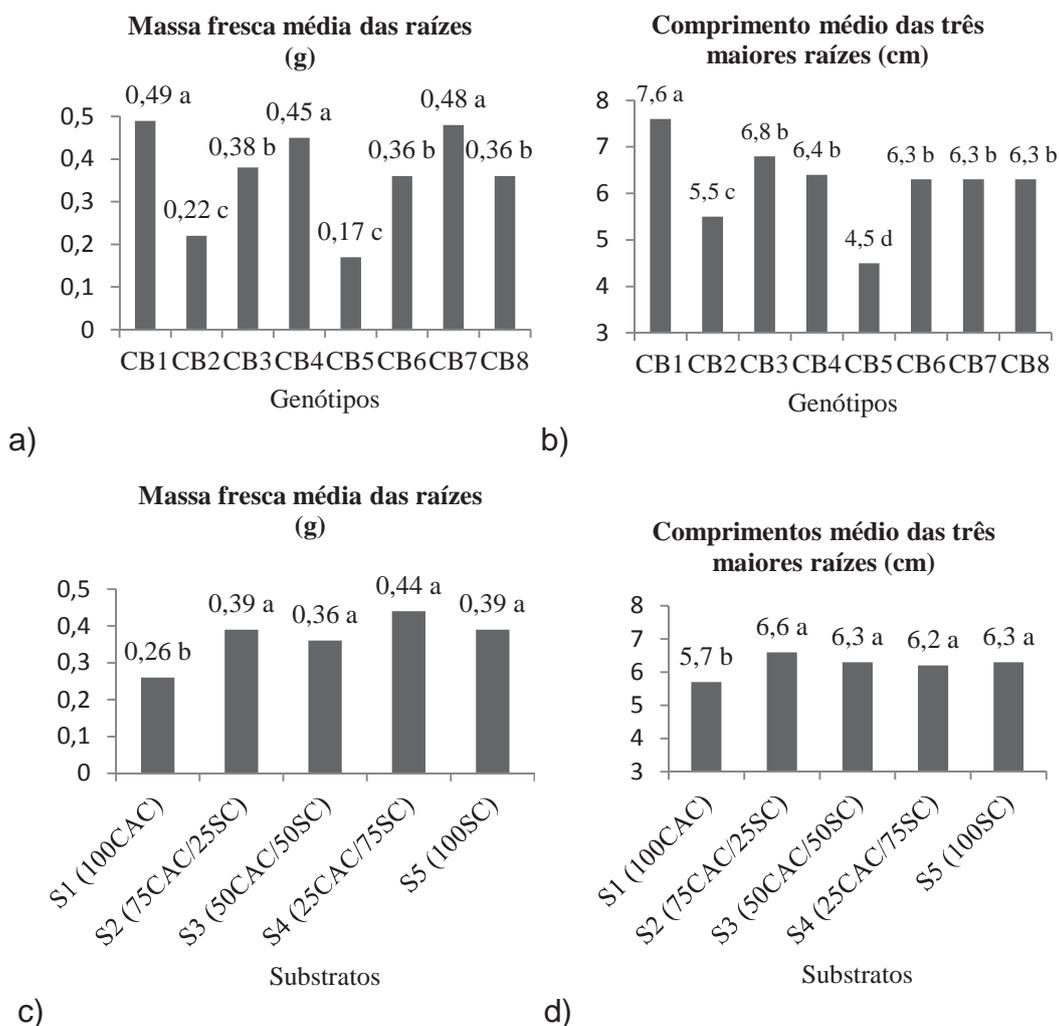
Stuep et al. (2015) testaram o enraizamento de brotações oriundas de decepa e anelamento em diferentes estações do ano, de plantas de erva-mate de 17 e 80 anos. Foi verificado que, sem ou com 3.000 mg L^{-1} de AIB, as melhores taxas de enraizamento variaram de 61,9% a 85%, concluindo que as brotações obtidas das matrizes mais jovens, assim como aquelas coletadas no verão, apresentaram melhores resultados, e que as técnicas de rejuvenescimento são viáveis para a otimização do enraizamento, não descartando a possível influência positiva do material genético utilizado, como também observaram Santos (2011), Hettwer (2013) e Tres (2016).

Em outro trabalho, Stuepp et al. (2017) compararam a estaquia de ramos coletados em plantas com 12 anos e mais de 80 anos, submetidas a diferentes doses de AIB (0, 1.500, 3.000, 4.500 e 6.000 mg L^{-1}) nas quatro estações do ano. Novamente verificaram que estacas de plantas mais jovens apresentaram maior facilidade de enraizamento, e que o uso do AIB não exerceu efeito significativo.

A capacidade de enraizamento em espécies lenhosas é frequentemente associada aos efeitos da maturação, onde estacas de plantas ou ramos mais juvenis ou rejuvenescidos tendem a ter um melhor enraizamento (SAND, 1989; HARTMANN et al., 2002; BRONDANI et al., 2008; BITENCOURT et al., 2009; WENDLING et al., 2013; STUEPP et al., 2014; WENDLING et al., 2014).

Os genótipos e os substratos, independentemente, promoveram efeito significativo ($p < 0,01$) na quantidade e qualidade das raízes, representadas pelas variáveis massa fresca de raízes por estaca e comprimento médio das três maiores raízes. Os genótipos CB1, CB4 e CB7 se destacaram por formarem a maior massa fresca de raízes (Figura 6a), enquanto CB2 e CB5 apresentaram a menor massa fresca. Quanto ao comprimento médio das três maiores raízes (Figura 6b), o destaque foi do genótipo CB1, enquanto raízes de menor comprimento foram verificadas em estacas dos genótipos CB2 e CB5, que também apresentaram menor massa. Os demais genótipos não diferiram entre si.

Figura 6. Efeito de genótipos e substratos na massa fresca média das raízes (a e c) e no comprimento médio das três maiores raízes (b e d) de estacas de erva-mate cultivar Cambona 4. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. C.V. = 34,59% (massa fresca de raízes); C.V. = 15,92% (comprimento médio das três maiores raízes).



A formação de maior massa fresca de raízes, ou maiores raízes, pode decorrer da característica genética do genótipo em apresentar um desenvolvimento mais vigoroso do sistema radicial, e/ou pelo fato destes genótipos iniciarem a indução e formação das raízes mais precocemente, chegando ao final do período de estaquia com maior quantidade de raízes.

Quanto ao efeito dos substratos, o uso exclusivo de casca de arroz carbonizada proporcionou menor massa fresca (Figura 6c), entre 28% e 41% inferior aos demais

substratos, e menor comprimento médio das três maiores raízes (Figura 6d), entre 8% e 14% inferior. Os demais substratos, contendo diferentes porcentagens de SC, não diferiram entre si, demonstrando o efeito positivo das condições físicas e da presença de nutrientes sobre o desenvolvimento das raízes, atendendo ao objetivo que a pesquisa se propôs, de identificar composições que permitissem o crescimento da muda a ser levada ao campo, sem necessidade de transplantio para outro substrato de crescimento.

Após 90 dias de estaquia, o comprimento médio das maiores raízes já alcançava mais de 4,5 cm. Desta forma, é possível propor que após constatado o enraizamento, as mudas que estão na mistura que contém substrato comercial, sejam transferidas para outro ambiente, com sistema de irrigação menos frequente, para concluir o desenvolvimento antes de serem levadas ao campo.

A emissão de raízes em estacas é favorecida pela utilização de materiais ou misturas que formem substratos menos densos e altamente porosos (CARRIJO et al., 2002), como por exemplo a casca de arroz carbonizada, a vermiculita (BITENCOURT, 2009) e a perlita (LÜ et al., 2012; KREEN et al., 2002). Estes materiais apresentam maior capacidade de drenagem para suportar o volume de água da irrigação, que é necessária para evitar a desidratação das estacas, e além disso, apresentam alta porosidade, o que favorece a oxigenação das raízes formadas.

Embora a casca de arroz carbonizada seja um substrato largamente utilizado em trabalhos de estaquia, a menor massa fresca de raízes e comprimento médio das três maiores raízes obtida com CAC100%, neste trabalho, encontra respaldo na literatura. Onde relatam que o uso exclusivo deste substrato não proporciona um enraizamento adventício adequado, sendo que o alto vigor radicial é alcançado com a mistura deste material com outros mais densos e menos porosos (BITENCOURT, 2009; LÜ et al., 2012; KRATZ et al., 2015).

Segundo Couto et al. (2003), a baixa densidade da casca de arroz carbonizada é uma importante característica quando se deseja aumentar a porosidade total do substrato, proporcionando maior drenagem e aeração ao sistema radicial da muda. É devido a sua alta macroporosidade que se faz necessária a combinação com elementos de maior microporosidade, como a fibra de coco e vermiculita (KRATZ et al., 2013).

No presente trabalho, a adição do SC a base de casca de pinus e fibra de coco provocou um aumento na densidade da mistura em torno de 25% e diminuição da porosidade total em 5,4%. Fato que proporcionou às estacas adequada sustentação e baixa redução na porosidade, mantendo condições adequadas de aeração e maior quantidade de água disponível para o desenvolvimento das raízes (Tabela 2). Resultado semelhante encontraram Kratz et al. (2015), em experimento com miniestaquia de erva-mate, onde os melhores resultados, como número de raízes, comprimento de maior raiz e comprimento total de raízes foram encontrados com uma mistura balanceada de casca de arroz carbonizada com fibra de coco.

A arquitetura das raízes adventícias formadas podem ser efetivamente modificadas por diferentes fontes de nutrientes. Além disso, vários macro e micronutrientes têm impacto sobre fatores centrais da rizogênese, incluindo o metabolismo energético, expressão gênica e atividades enzimáticas que regulam a auxina e outros fito-hormônios que estimulam o enraizamento. Uma adequada nutrição mineral da planta doadora e do propágulo, juntamente com o meio no qual os propágulos são estimulados a enraizar é determinante para a sobrevivência e o enraizamento bem sucedido, aumentando as taxas de sucesso em programas de propagação vegetativa (ASSIS et al., 2004; ALMEIDA et al., 2017).

Embora os substratos que continham maiores volumes do substrato comercial tenham apresentado baixo pH, os mesmos não influenciaram negativamente o enraizamento, pelo contrário, a mistura de SC à CAC proporcionou melhor vigor radicial às mudas. Possivelmente, o baixo pH destas misturas não tenha afetado negativamente a erva-mate pelo fato da espécie se desenvolver naturalmente em solos ácidos (SANTIN et al., 2013).

A capacidade nutricional é um aspecto chave para a formação de raízes adventícias em estacas (ASSIS et al., 2004), bem como a arquitetura radicial (OSMONT et al., 2007). A condição nutricional da planta doadora dos propágulos também afeta o enraizamento (ASSIS et al., 2004). Foi observado uma correlação negativa entre o enraizamento de miniestacas de diferentes espécies de eucalipto e a quantidade de fósforo na nutrição das plantas matrizes (CUNHA et al., 2009). Ribeiro et al. (2007) verificaram que o aumento de concentrações de nitrogênio no substrato da planta doadora melhoraram o

enraizamento de miniestacas de *Eucalyptus globulus* Labill. Neste trabalho não foram analisadas as condições nutricionais das plantas matrizes ou do erval em que se encontravam, porém este é um aspecto importante a se considerar para futuras investigações. Para eucalipto, o que se sabe é que a planta-mãe deve ser bem nutrida com macronutrientes como fósforo, potássio, cálcio e magnésio e pode ser moderadamente deficiente em nitrogênio (HARTMANN et al., 2002) .

Os índices nutricionais do substrato também influenciam o enraizamento. Em estudo realizado *in vitro*, com *Eucalyptus globulus* Labill., a aplicação de N na forma de nitrato nas fases de indução, que é a fase de modificações moleculares e bioquímicas anteriores às alterações anatômicas, e de iniciação, que é a fase da multiplicação celular e estabelecimento dos meristemas, com surgimento dos primórdios radiculares (PEREIRA; PERES, 2016), assim como a adição de zinco em todas as fases, aumentou significativamente o percentual de enraizamento (SCHWAMBACH et al., 2005). No presente estudo, os melhores resultados de massa fresca e comprimento de raízes nos substratos contendo SC, podem ser atribuídos a maior capacidade nutricional, visto que apresentaram quantidades de nutrientes consideravelmente maiores que a casca de arroz carbonizada. A adição do SC conferiu às misturas alta concentração de matéria orgânica, que é utilizado como indicador da disponibilidade de nitrogênio (SBCS, 2004), e alta capacidade de troca catiônica, o que confere ao substrato maior reserva de nutrientes minerais, pois evita que os mesmos sejam perdidos facilmente com a irrigação (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O metabolismo do açúcar está diretamente associado ao processo de iniciação radicial, que por sua vez é influenciado pela presença de nitrogênio (ALMEIDA et al., 2017). Nitrato foi identificado como uma molécula de sinalização que controla o padrão de ramificação das raízes, independente dos seus efeitos sobre o metabolismo do nitrogênio (LEYSER; FITTER, 1998). Fato identificado através de experimento realizado com *Arabidopsis*, no qual as plantas que estavam em uma região de alta concentração de nitrato apresentaram alta taxa de ramificação das raízes. Uma vez que, com a decomposição da matéria orgânica, há a liberação de nitrato e amônio (NH_4^+), o nitrato com maior mobilidade chega mais rapidamente à rizosfera e, atuando como sinalizador, informa que há fontes de nutrientes no solo e estimula a ramificação das raízes (FORDE;

ZHANG, 1998). Além disso, a presença de fontes de nitrogênio apresenta um significativo efeito no número de raízes formadas e no comprimento das mesmas (SCHWAMBACH et al., 2005).

O cálcio também tem papel fundamental na formação das raízes adventícias, uma vez que é considerado um micronutriente praticamente imóvel, com baixa taxa de transporte no floema (ALMEIDA et al., 2017). Porém, é fundamental na divisão celular, contribuindo para a manutenção da integridade da membrana celular, podendo afetar o transporte de auxina. Além disso, pode estar envolvido como mensageiro em cascatas de sinalização para recrutamento de células para a formação do novo meristema radicial (MAATHUIS, 2009). A adição de cálcio em todas as fases de enraizamento adventício de *Eucalyptus globulus* Labill. estimulou a emissão de um maior número de raízes por estaca (SCHWAMBACH et al., 2005).

O fósforo é essencial para todas as fases de enraizamento (ALMEIDA et al., 2017). Em miniestacas de *Eucalyptus globulus* Labill., reduzindo a concentração de fósforo em ambas as fases de enraizamento resultou na formação de raízes mais curtas (SCHWAMBACH et al., 2005). No presente experimento, os tratamentos que continham maior concentração de substrato comercial apresentaram uma maior quantidade de cálcio e um aumento de mais de 70% na concentração de fósforo (Tabela 1), o que pode ter influenciado positivamente no vigor radicial, em relação às raízes formadas na casca de arroz carbonizada.

O potássio é um elemento-chave na pressão do turgor e no controle de abertura dos estômatos, sendo fundamental para um enraizamento bem sucedido. A perda de água pode matar a estaca antes do desenvolvimento da primeira raiz, sendo necessária uma concentração adequada de potássio para a manutenção do equilíbrio hídrico (ALMEIDA et al., 2017). Neste trabalho a concentração de potássio apresentou comportamento diferente dos outros minerais, uma vez que a CAC proporcionou maior concentração de potássio do que as misturas que continham o SC (Tabela 1). Porém, pequenas diferenças na concentração de potássio do meio de enraizamento não afeta o processo de enraizamento, embora quantidades muito elevadas ou a deficiência deste nutriente tende a reduzir o número de raízes formadas e o comprimento (SCHWAMBACH et al., 2005).

4.4 Estacas brotadas e comprimento das brotações

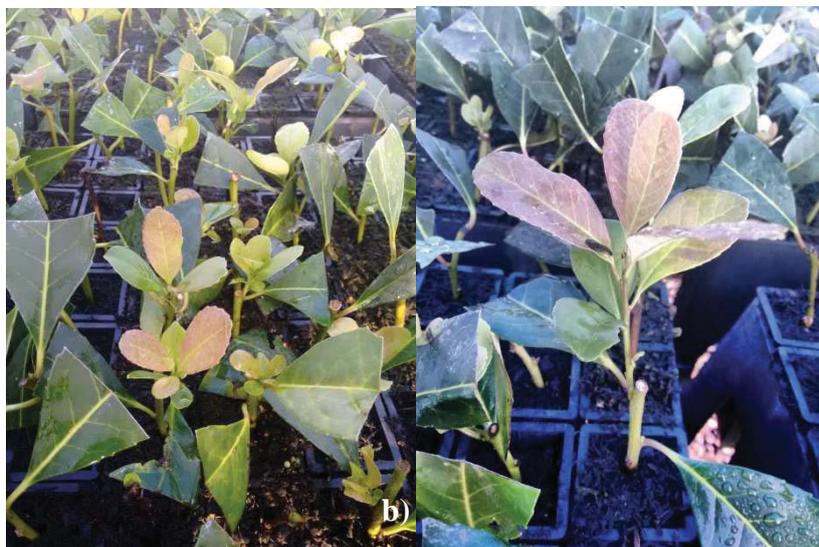
Houve interação significativa ($p < 0,05$) dos genótipos vs. substratos na porcentagem de estacas brotadas, e efeito significativo ($p < 0,01$) dos genótipos no comprimento das brotações. Os genótipos CB7 e CB8 destacaram-se por apresentarem maior porcentagem de estacas brotadas em todos os substratos testados (Tabela 3), entre 37,6% e 59,4% (Figura 7). No substrato S1 (100% CAC) também apresentaram maior porcentagem de estacas brotadas os genótipos CB2 e CB4, e no substrato S2 (75% CAC/25SC) os genótipos CB1, CB3 e CB4. No substrato S4 (25 %CAC/75%SC) os genótipos não diferiram entre si.

Tabela 3 - Efeito de genótipos e substratos na porcentagem de estacas brotadas de erva-mate cultivar Cambona 4. Passo Fundo, RS, 2017

Genótipos	Estacas brotadas (%)				
	Substratos*				
	S1 (100CAC)	S2 (75CAC/25SC)	S3 (50CAC/50SC)	S4 (25CAC/75SC)	S5 (100SC)
CB1	24,4 bA	26,9 aA	26,2 bA	39,3 aA	31,1 bA
CB2	31,5 aA	15,0 bA	18,4 bA	22,2 aA	13,7 bA
CB3	30,4 bA	27,9 aA	22,3 bA	21,7 aA	27,5 bA
CB4	34,7 aA	30,5 aA	24,9 bA	31,8 aA	27,1 bA
CB5	13,9 bA	9,0 bA	8,33 bA	16,8 aA	24,3 bA
CB6	11,4 bA	16,9 bA	26,4 bA	24,7 aA	28,2 bA
CB7	50,0 aA	41,2 aA	40,2 aA	37,6 aA	45,2 aA
CB8	42,5 aA	44,5 aA	47,2 aA	45,4 aA	59,4 aA
C.V.	57,63%				

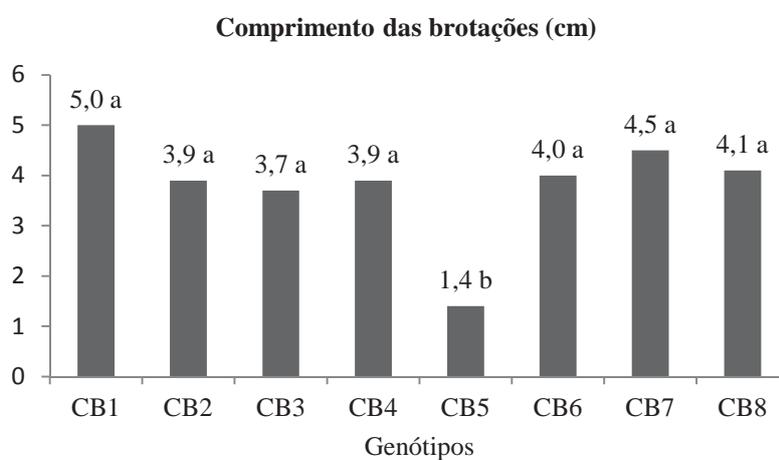
Médias seguidas de mesma letra maiúscula na linha e mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. *CAC: casca de arroz carbonizada; SC: substrato comercial a base de casca de pinus e fibra de coco.

Figura 7 – Estacas brotadas de erva-mate cultivar Cambona 4. Passo Fundo, RS, 2017



Os substratos não influenciaram o comprimento das brotações, o que seria esperado pela variação na composição química e física. O genótipo CB5 foi o que apresentou brotações de menor comprimento (1,4 cm) (Figura 8), o que não diferiu dos demais genótipos entre si, com brotações médias de 4,2 cm.

Figura 8 - Efeito dos genótipos no comprimento médio das brotações emitidas em estacas de erva-mate cultivar Cambona 4. Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. (C.V. = 56,35%).



A erva-mate não se caracteriza por apresentar uma brotação significativa imediatamente após a estaquia, por efeito da coleta da estaca e desponte da mesma, como ocorre em grande parte das espécies vegetais, mesmo submetida a um ambiente quente e úmido (estufa com nebulização). A presença de brotação nessa espécie, normalmente, ocorre mais tardiamente, e considera-se um forte indicativo de enraizamento da estaca. No caso desta pesquisa, em que uma das hipóteses averiguadas foi a de que é possível constituir substratos que permitam, além da iniciação radicular, também o desenvolvimento da muda, sem a necessidade de repicagem para outro substrato, as taxas de brotação obtidas para vários genótipos e substratos evidenciam que a hipótese pode ser confirmada.

5 CONCLUSÕES

a) Ervais de Cambona 4 apresentam genótipos agronomicamente superiores em produtividade com elevado potencial de enraizamento por estaquia, viabilizando o uso da técnica na produção comercial de mudas.

b) Os genótipos CB6 e CB7 destacam-se pelo melhor enraizamento, superior a 75%, com estaquia realizada no verão (final de janeiro).

c) Sugere-se que as misturas S3 (50 CAC/50 SC) e S4 (25 CAC/75 SC), sejam as mais adequadas para o enraizamento de erva-mate cv. Cambona 4, devendo os produtores optar pelo que seja mais viável economicamente. O substrato comercial combinado com a casca de arroz carbonizada resulta em misturas mais densas, com menor porosidade e maior fornecimento de água disponível e capacidade nutricional. Esses fatores proporcionam satisfatório enraizamento e, possivelmente, condições para a continuidade do desenvolvimento das mudas, sem a necessidade de repicagem para outro substrato.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O melhoramento genético foi fundamental para aumentar a produtividade em diversas culturas, principalmente na área florestal com o gênero *Eucalyptus* e, de forma alguma, seria diferente com a cultura da erva-mate. Entretanto, o desenvolvimento de sistemas de propagação vegetativa de erva-mate que possibilite a clonagem de forma intensiva é fundamental para alcançar o melhoramento genético, com escolha de caracteres de interesse e uma maior produtividade que beneficie os produtores rurais, e de modo amplo, auxilie a expansão da economia local.

A clonagem de erva-mate para a produção de mudas é uma realidade próxima, sendo de grande importância as pesquisas realizadas na área para averiguar os fatores que afetam o enraizamento por meio de estaquia da espécie.

Embora a espécie apresente dificuldade em desenvolver raízes a partir de propágulos adultos, no presente estudo o enraizamento variou de 39,2 a 80,4%, demonstrando a forte influência genética na capacidade de enraizamento.

O alto índice de enraizamento apresentado neste trabalho demonstra a grande capacidade de alguns genótipos desenvolverem raízes adventícias em estacas, o que revela o alto potencial para se tornarem matrizes na propagação vegetativa da erva-mate. Porém, antes da produção de mudas em larga escala, se faz necessário a realização de plantios clonais destes genótipos e outros que atendam as características desejadas para comprovação da viabilidade agrônômica dos ervais clonais. Além disso, outros genótipos com alta predisposição ao enraizamento devem ser selecionados para formarem os ervais clonais, com o intuito de evitar possível o estreitamento genético, que tornaria a cultura mais suscetível a doenças, pragas e intempéries.

Em relação ao substrato de enraizamento, embora todos os substratos avaliados tenham demonstrado viabilidade para a produção de mudas de erva-mate da cv. Cambona 4 pelo método da estaquia, o uso de misturas, formadas por materiais com elevada

porosidade e baixa densidade, como a casca de arroz carbonizada, com materiais mais densos, com maior disponibilidade de água e nutrientes, como o substrato comercial a base de casca de pinus e fibra de coco, demonstraram ser mais adequados. A utilização da mistura destes materiais proporciona satisfatória porcentagem de estacas enraizadas e maior vigor de crescimento das raízes, possivelmente capaz de suportar o desenvolvimento das mudas até o transplante direto para o campo, encaminhando previamente as mudas para outro ambiente com menor frequência de irrigação, após constatado o enraizamento.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. R. de; AUMOND Jr., M.; COSTA, C. T. da; SCHWAMBACH, J.; RUEDELL, C. M.; CORREA, L. R.; FETT-NETO, A. G. Environmental control of adventitious rooting in *Eucalyptus* and *Populus* cuttings. **Trees**, 2017. Publicação *on line*. DOI 10.1007/s00468-017-1550-6.

ASSIS, T. F.; FETT-NETO, A. G.; ALFENAS, A. C. Current techniques and prospects for the clonal propagation of hardwoods with emphasis on *Eucalyptus*. **Research SignPost**, p. 303–333, 2004.

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, p. 277-281, 2009.

BRONDANI, G. E.; ARAUJO, de A. M.; WENDLING, I.; KRATZ, D. Enraizamento de miniestacas de erva-mate sob diferentes ambientes. **Pesquisa Florestal Brasileira**, n. 57, p. 29-38, 2008.

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

BRONDANI, G. E.; WENDLING, I.; SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; ROVEDA, L. F.; ORRUTÉA, A. G. Ambiente de enraizamento e substratos na miniestaquia de erva-mate. **Scientia Agraria**, v. 8, n. 3, p. 257-267, 2007.

CARRIJO, O. A.; LIZ, R. S.; MAKISHIMA, N. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 533-535, 2002.

CARVALHO, P. E. R. **Espécies arbóreas brasileiras**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. 1039 p.

CORREA, G.; FONSECA, T. M. da; MELO, I. B. de; GRISON, A.; RUFFATO, A.; MEDRADO, M. J. S.; CANSIAN, R. L.; VILCAHUAMÁN, L. J. M.; FELIZARI, S. R. **Cambona 4: desenvolvimento de uma progênie-biclinal de erva-mate em Machadinho, RS**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011. (Documentos, 224).

CORREA, G. **Controle genético do enraizamento de estacas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire)**. 1995. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais – Concentração Silvicultura). Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.

COUTO, M; WAGNER JÚNIOR, A.; QUEZADA, A. C. Efeito de diferentes substratos durante a aclimatização de plantas micropropagadas do porta-enxerto Mirabolano 29c (*Prunus cerasifera* EHRH.) em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Agrociência**, v. 9, n. 2, p. 125-128, 2003.

CUNHA, A. C. M. C. M. DA; PAIVA, H. N. DE; BARROS, N. F. DE; LEITE, H. G.; LEITE, F. P. Influência do estado nutricional de mini cepas no enraizamento de mini estacas de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 33, n. 4, p. 607-615, 2009.

FACHINELLO, J. C.; HOFFMANN, A.; NACHTIGAL, J. C.; KERSTEN, E. **Propagação de plantas frutíferas**. Brasília: Embrapa, 2005. 220 p.

FORDE, B.; ZHANG, H. ...response: Nitrate and root branching. **Trends in plant science**, v. 3, n. 6, p. 204-205, 1998.

FOWLER, J. A. P.; STURION, J. A. **Aspectos da formação do fruto e da semente na germinação da erva-mate**. Colombo: Embrapa, 2000. (Comunicado técnico, 45).

FREITAS, T. A. S. de; BARROSO, D. G.; CARNEIRO, J. G. de A.; PENCHEL, R. M.; FIGUEIREDO, F. A. M. M. de A. Mudanças de eucalipto produzidas a partir de miniestacas em diferentes recipientes e substratos. **Revista Árvore**, v.30, n.4, p.519-528, 2006.

GENEVE, R. L. Patterns of adventitious root formation in english ivy. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 10, p. 215-220, 1991.

GOULART, P. B.; XAVIER, A.; DIAS, J. M. M. Efeito dos cofatores hidroquinona, prolina e triptofano no enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla*. **Revista Árvore**, v. 35, n. 5, p. 1017-1026, 2011.

GRAÇA, M. E. C.; COOPER, M. A.; TAVARES, F. R.; CARPANEZZI, A. A. **Estaquia de erva-mate**. Curitiba: Embrapa Florestas, 1988. (Circular Técnica, 18).

HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E.; DAVIES JÚNIOR, F. T.; GENEVE, R. L. **Plant propagation: principles and practices**. 7. ed. New Jersey: Prentice- Hall, 2002. 847 p.

HETTWER, V. F. J. M. **Variabilidade fenotípica e potencial de enraizamento por estaquia de genótipos de erva-mate 'Cambona 4'**. 2013. 113 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal). Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2013.

HIGA, R. C. V. Estaquia de erva-mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire): resultados preliminares. **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 304-305, 1983.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção agrícola municipal**: culturas temporárias e permanentes. Rio de Janeiro: IBGE, v. 42, 2015a. 59 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 30, 2015b. 48 p.

IRITANI, C.; SOARES, R. V. Ação de reguladores de crescimento em estacas de *Ilex paraguariensis* St. Hilaire. **Floresta**, v. 12, n. 2, p. 59-67, 1981.

KRATZ, D.; PIRES, P. P.; STUEPP, C. A.; WENDLING, I. Produção de mudas de erva-mate por miniestaquia em substratos renováveis. **Floresta**, v. 45, n.3, p. 609-616, 2015.

KRATZ, D.; WENDLING, I.; NOGUEIRA, A. C.; SOUZA, P. V. de. Propriedades físicas e químicas de substratos renováveis. **Revista Árvore**, v. 37, p. 1103-1113, 2013.

KREEN, S.; SVENSSON, M.; RUMPUNEN, K. Rooting of Clematis microshoots and stem cuttings in different substrates. **Scientia Horticulturae**, v. 96, p. 351-357, 2002.

LEYSER, O.; FITTER, A. Roots are branching out in patches. **Trends in plant science**, v. 3, n. 6, p. 203-204, 1998.

LIMA, D. M.; BIASI, L. A.; ZANETTE, F.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; BONA, C.; MAYER, J. L. S. Capacidade de enraizamento de estacas de *Maytenus muelleri* Schwacke com a aplicação de ácido indol butírico relacionada aos aspectos anatômicos. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Botucatu, v. 13, n. 4, p. 422-438, 2011.

LÜ, J.; SILVA, J. A. T.; MA, G. Vegetative propagation of *Primula tabucum* by petiole cuttings. **Scientia Horticulturae**, v. 134, p. 163-166, 2012.

MAATHUIS, F. J. M. Physiological functions of mineral macronutrients. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 12, p. 250–258, 2009.

MANUAL de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre: SBCS – Comissão de Química e Fertilidade do Solo. 2004. 400 p.

MEDRADO, M. J. S.; MOSELE, S. H. **O futuro da investigação científica em erva-mate**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. (Documentos, 92).

MELO, I. B. de. **Mapeamento da cadeia produtiva da erva-mate no município de Machadinho**: Desafios e Propostas. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão do Agronegócio) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2010.

OLIVEIRA, S. V. de; WAQUIL, P. D. Dinâmica de produção e comercialização da erva-mate no Rio Grande do Sul, Brasil. **Ciência Rural**, v. 45, n. 4, p. 750-756, 2015.

OSMONT, K. S.; SIBOUT, R.; HARDTKE, C. S. Hidden branches: developments in root system architecture. **Annual Review of Plant Biology**, v. 58, p. 93–113, 2007.

PAIVA, H. N. de; GOMES, J. M. **Propagação vegetativa de espécies florestais**. Viçosa: UFV, 2005. 46 p. (Caderno Didático, 83).

PEREIRA, F. B.; PERES, F. S. B. Nutrição e enraizamento adventício de plantas lenhosas. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 87, p. 319-326, 2016.

PIJUT, P. M.; WOWSTE K. E.; MICHLER, C. H. Promotion of adventitious root formation of difficult-to-root hardwood tree species. **Horticultural Reviews**, v. 38, p. 213-251, 2011

QUADROS, K. M. **Propagação vegetativa de erva-mate (*Ilex paraguariensis* Saint Hilaire – Aquifoliaceae)**. 2009. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Secretaria de Agricultura, Pecuária e Irrigação. **Informativo Fundomate**. Porto Alegre, 2017. 5 p.

_____. Decreto n. 48.978, de 03 de abril de 2012. **Diário Oficial do Estado**, Porto Alegre, RS, nº 066, de 04 de abril de 2012.

RIBEIRO, H. M.; VASCONCELOS, E.; RAMOS, A., COUTINHO, J. O comportamento de pés-mãe de *Eucalyptus globulus* Labill. sujeitos a diferentes níveis de azoto e potássio. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 30, p. 87–97, 2007.

SAND, H. A. **Propagación agamica de la yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.)**. Cerro Azul: INTA Estación Experimental Agropecuaria Misiones, 1989. (INTA. Nota técnica, 40).

SANTIN, D.; BENEDETTI, E. L.; BASTOS, M. C.; KASEKER, J. F.; REISSMANN, C. B.; BRONDANI, G. E.; BARROS, N. F. de. Crescimento e nutrição de erva-mate influenciados pela adubação nitrogenada, fosfatada e potássica. **Ciência Florestal**, v. 23, n. 2, p. 363-375, 2013.

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.

SANTOS, S. R. F. dos. **Multiplicação de genótipos de erva-mate pelo processo de estaquia**. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2011.

SCHWAMBACH, J.; FADANELLI, C.; FETT-NETO, A. G. Mineral nutrition and adventitious rooting in microcuttings of *Eucalyptus globulus*. **Tree Physiol**, v. 25, p. 487–494, 2005.

SILVA, F.A.S., AZEVEDO, C.A.V. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **Afr. J. Agric. Res.**, v. 11, n. 39, p. 3733-3740, 2016.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO (SBCS). **Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 400 p.

STUEPP, C. A.; BITENCOURT, J. de; WENDLING, I.; KOEHLER, H. S.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C. Propagação de erva-mate utilizando brotações de anelamento e decepa em matrizes de duas idades. **Cerne**, v. 21, n. 4, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201521041864>. Acesso em: 30 out. 2017.

STUEPP, C. A.; BITENCOURT, J. de; WENDLING, I.; KOEHLER, H. S.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C. Age of stock plants, seasons and IBA effect on vegetative propagation of *Ilex paraguariensis*. **Revista Árvore**, v. 41, n. 2, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1806-90882017000200004>. Acesso em: 25 out. 2017.

STUEPP, C. A.; ZUFFELLATO-RIBAS, K. C.; WENDLING, I.; KOEHLER, H. S.; BONA, C. Vegetative propagation of mature dragon trees through epicormic shoots. **Revista Bosque**, v. 35, n. 3, p. 333-41, 2014.

STURION, J. A.; RESENDE, M. D. Programa de melhoramento genético da erva-mate no Centro Nacional de Pesquisa 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-CNPQ, 1997. p. 285-297.

STURION, J. A.; RESENDE, M. D. V. de. **Melhoramento genético da erva-mate**. 1. ed. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. 274 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TARRAGÓ, J.; SANSBERROA, P.; FILIPB, R.; LOPEZ, P.; GONZALEZ, A.; LUNAA, A. C.; MROGINSKIA, L. Effect of leaf retention and flavonoids on rooting of *Ilex paraguariensis* cuttings. **Scientia Horticulturae**, v. 103, p. 479–488, 2005.

TAVARES, F. R.; PICHET, J. A.; MASCHIO, L. M. A. Alguns fatores relacionados com a estaquia de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: Congresso Florestal Estadual, Nova Prata. **Anais...**Santa Maria: UFSM, 1992.

TRES, L. **Caracterização fenotípica e potencial de enraizamento por estaquia de um germoplasma de erva-mate de origem seminal**. 2016. 109 f. Dissertação (Mestrado em

Agronomia - Produção Vegetal). Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2016.

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

WENDLING, I.; BRONDANI, G. E.; BIASSIO, A.; DUTRA, L. F. Vegetative propagation of adult *Ilex paraguariensis* trees through epicormic shoots. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 35, n. 1, p. 117-125, 2013.

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**, v. 42, n. 2, p. 289-292, 2007.

WENDLING, I.; SANTIN, D. **Propagação e nutrição de erva-mate**. 1. ed. Brasília: Embrapa, 2015. 195 p.

WENDLING, I.; TRUEMAN, S. J.; XAVIER, A. Maturation and related aspects in clonal forestry-part II: reinvigoration, rejuvenation and juvenility maintenance. **New Forests**, v. 1, p. 1-14, 2014.

XAVIER, A.; WENDLING, I.; SILVA, R. L. **Silvicultura clonal**: princípios e técnicas. 2. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2013. 279 p.



PPGAgro

Programa de Pós-Graduação em Agronomia

Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - FAMV