

**Fatores que influenciam o enraizamento de estacas de erva-mate (*Ilex paraguariensis*):  
uma revisão**

**Factors influencing the cutting rooting of yerba mate (*Ilex paraguariensis*): a review**

**Factores que influncian el enraizamiento de estacas de yerba mate (*Ilex  
paraguariensis*): una revisión**

Recebido: 05/04/2020 | Revisado: 15/04/2020 | Aceito: 17/04/2020 | Publicado: 19/04/2020

**Everton Luiz de Almeida Barbosa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1371-8180>

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

E-mail: [everton\\_jg@hotmail.com](mailto:everton_jg@hotmail.com)

**Tayná Jornada Ben**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7483-3505>

Faculdade Campo Real, Brasil

E-mail: [tj.ben@hotmail.com](mailto:tj.ben@hotmail.com)

**Poliana Horst Petranski**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4203-1951>

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

E-mail: [polianahorstp@hotmail.com](mailto:polianahorstp@hotmail.com)

**Bruno Patias Lena**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9518-4425>

Auburn University, USA

E-mail: [brunoplena@gmail.com](mailto:brunoplena@gmail.com)

**Kátia Cylene Lombardi**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2388-2985>

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

E-mail: [kclombardi@unicentro.br](mailto:kclombardi@unicentro.br)

**Luciano Farinha Watzlawick**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9944-7408>

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

E-mail: [farinha@unicentro.br](mailto:farinha@unicentro.br)

**Fabrcio William vvila**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0301-2720>

Universidade Estadual do Centro-Oeste, Brasil

E-mail: [fwavila@unicentro.br](mailto:fwavila@unicentro.br)

## Resumo

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. - Aquifoliaceae) é uma espécie de grande importância na silvicultura da região Sul do Brasil. Além do tradicional chimarrão, do tererê e do chá-mate, sua matéria prima tem sido aplicada na produção de alimentos, bebidas, cosméticos, produtos de higienização e em importantes medicamentos. Recentemente tem ocorrido aumento na procura por produtos derivados de erva-mate em diversos países, tal como Itália, Espanha e Estados Unidos. Porém, a produção de erva-mate ainda sofre alguns entraves, principalmente quanto à produção de mudas. Esta, na maioria das vezes, se dá pela propagação sexuada, o que pode resultar em baixa produtividade e qualidade do produto final, o que conseqüentemente resulta em menor rentabilidade aos produtores. Tudo isso devido à falta de protocolos eficientes para propagação clonal da espécie, bem como o conhecimento sobre os fatores que interferem no processo de enraizamento, balanço hormonal, utilização de indutores de enraizamento, época de coleta do propágulo, idade cronológica de progenitores, ambiente de enraizamento, substratos e soluções nutritivas. Quanto ao método empregado para a realização da pesquisa, utilizou-se de revisão bibliográfica sobre os fatores que influenciam no enraizamento de estacas e miniestacas de erva-mate, abordando artigos científicos publicados a partir de 2009 com propagação vegetativa por estaquia de *Ilex paraguariensis*. A finalidade dessa revisão é verificar o estado da arte e a viabilidade da propagação vegetativa por estaquia e miniestaquia de erva-mate.

**Palavras-chave:** *Ilex paraguariensis*; Enraizamento; Silvicultura clonal; Propagação vegetativa; Estaquia.

## Abstract

Yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) is an importance species of the Southern Brazilian silviculture. Besides the traditional 'tererê' and 'chimarrão' beverage, also called 'mate', its raw material is used in the production of food, beverages, cosmetics, hygiene products and important medicines. Its raw material has been applied in the production of food, beverages, cosmetics, cleaning products and important medicines. Recently there has been an

increase in demand for products derived from yerba mate in several countries, such as Italy, Spain and the United States. However, yerba mate crop still suffers some problems, mainly regarding the production of yerba mate seedlings. These, in most cases, are obtained via sexual propagation, which may result in low yield and final product quality, which may lead to decreased profitability for field producers. All of this due to the lack of efficient protocols for clonal propagation of yerba mate, as well as, the knowledge about the factors that interfere in the rooting process, hormonal balance, use of rooting inducers, collection time of propagules, progenitor age, rooting environment, substrates and nutrient solutions. As for the method used to carry out the research, a bibliographic review was used as a tool to investigate the factors influencing the rooting of cuttings and mini-cuttings in yerba mate, addressing scientific data published from 2009 with vegetative propagation by cuttings and mini-cuttings of *Ilex paraguariensis*. The purpose of this review is to verify the state of the art and the viability of vegetative propagation by cuttings and mini-cuttings of yerba mate.

**Keywords:** *Ilex paraguariensis*; Rooting; Clonal forest; Vegetative propagation; Cuttings.

### Resumen

La yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil - Aquifoliaceae) es una especie de gran importancia en la silvicultura de la región sur de Brasil. Además del tradicional chimarrão, del tererê y del té mate, su materia prima ha sido aplicada en la producción de alimentos, bebidas, cosméticos, productos de higiene y en medicamentos importantes. Recientemente ha habido un aumento en la demanda de productos derivados de la yerba mate en diferentes países, tales como Italia, España y Estados Unidos. Sin embargo, la producción de yerba mate todavía sufre algunos obstáculos, principalmente con respecto a la producción de plántulas. Esta, en la mayoría de los casos, ocurre a través de la propagación sexual, la cual puede provocar una baja productividad y calidad del producto final, y en consecuencia una menor rentabilidad para los productores. Todo esto debido a la falta de protocolos eficientes para la propagación clonal de la especie, así como a la falta de conocimiento de factores que interfieren en el proceso de enraizamiento, balance hormonal, utilización de inductores de enraizamiento, época de recolección del propágulo, edad cronológica de los progenitores, ambiente de enraizamiento, sustratos y soluciones nutritivas. En cuanto al método empleado para la realización de la investigación, se utilizó de una revisión bibliográfica sobre los factores que influyen el enraizamiento de estacas y mini estacas de yerba mate, abordando artículos científicos publicados del 2009 al 2018 con propagación vegetativa por estacas y mini estacas

de *Ilex paraguariensis*. El propósito de esta revisión es verificar el estado del arte y la viabilidad de la propagación vegetativa mediante estacas y mini estacas de yerba mate.

**Palabras clave:** *Ilex paraguariensis*; Enraizamiento; Silvicultura clonal; Propagación vegetativa; Estacas.

## 1. Introdução

A atividade silvicultural da erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil. - Aquifoliaceae) foi pioneira em movimentar a economia da região Sul do Brasil. Além da elevada capacidade de uso da matéria-prima em doces, refrigerantes, medicamentos e cosméticos, as folhas da erva-mate também são destinadas ao preparo, por infusão, de um tipo de chá denominado chimarrão (Bergottini et al., 2015; Oliveira & Waquil, 2015), o qual fornece inúmeros benefícios à saúde (Dahmer et al., 2012; Lückemeyer et al., 2012; Gao, Liu, Qu, & Zhao, 2013; Pérez et al., 2014). Nesse sentido, Cardozo Junior e Morand (2016) relataram recentemente um aumento no consumo de produtos derivados da erva-mate em vários países, tais como Itália, Espanha, Estados Unidos, França, Coreia, Austrália, Japão, Alemanha, Rússia e Síria.

A erva-mate é uma espécie vegetal que ocorre naturalmente na floresta Ombrófila Mista, caracterizada pela presença, dentre outras espécies, do pinheiro (*Araucaria angustifolia*). Este tipo de formação florestal é encontrado na região Sul do Brasil, além de outros países da América do Sul. Segundo a SEAB (2014), o Brasil apresentou uma produção total de 860.046 toneladas de erva-mate no ano de 2013; deste montante, em torno de 60% foram provenientes de áreas cultivadas, ou seja, que foram implantadas, e 40% proveniente de áreas de extrativismo nativo. Dados fornecidos pelo IBGE (2015) mostram que o setor ervateiro movimentou cerca de 975,5 milhões de reais na economia do país.

Kapp Junior, Zarpellon, Dalazen e Souza (2017) citaram que no Brasil a produção de erva-mate está majoritariamente centralizada no estado do Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Mato Grosso do Sul e São Paulo. Esses autores relataram que houve um aumento na área plantada após o ano de 2010, principalmente nos estados do Paraná e Santa Catarina, porém, em termos de área explorada, o manejo extrativista ainda prevalece em relação ao cultivo implantado. Isto pode estar relacionado ao pouco interesse de investimento do ponto de vista do produtor rural tecnificado; outro aspecto importante são as dificuldades

encontradas para estabelecer protocolos eficientes na produção de mudas de erva-mate de qualidade que propiciem vantagens quanto à relação custo-benefício.

Devido à propagação de espécies florestais nativas ser predominantemente realizada via sexuada, ou seja, a partir de sementes (Dias, Oliveira, Xavier, & Wendling, 2012), constata-se um entrave para produção comercial de mudas de erva-mate. Conforme Daniel (2009), isso justifica a alta porcentagem de mortalidade de ervais implantados no campo, oriundo da elevada heterogeneidade de desenvolvimento das mudas, que resulta em menor produtividade e qualidade do produto final. Ainda, muitas vezes, são coletadas sementes de ervais nativos ou cultivados sem critérios para seleção de genótipos.

A produção de mudas de erva-mate via propagação assexuada permite selecionar genótipos promissores sem correr o risco da variabilidade genética, o que traz várias vantagens à silvicultura, resultando em plantios clonais homogêneos e mais produtivos, além de melhorar a qualidade de seus derivados (Xavier, Wendling, & Silva, 2009). Santin, Wendling, Benedetti, Morandi e Domingos (2015) relataram que para a erva-mate, mudas propagadas vegetativamente a partir de miniestacas juvenis possuem alta taxa de sobrevivência, bom crescimento e elevados índices de produtividade, quando comparadas às mudas obtidas por sementes. Os autores também citaram que as progênes oriundas de sementes manipuladas para obtenção de miniestacas podem conferir um aumento na produtividade; além disso, a seleção de materiais de diferentes procedências propicia identificar caracteres intrínsecos no que diz respeito a qualidade e rendimento da espécie.

Para espécies do gênero *Eucalyptus* a técnica de propagação vegetativa é amplamente utilizada, sendo que para esta cultura, a miniestaquia tem sido mais vantajosa em relação à estaquia convencional, uma vez que fornece vários benefícios, dentre eles a maior eficiência na propagação de clones, maior percentual de enraizamento e redução de custos com coleta e transporte de brotações. Além disso, a propagação via miniestaquia propicia redução da área necessária para formar o jardim clonal, tornando as atividades de produção de mudas mais eficientes, além de disponibilizar mudas com maior qualidade e velocidade de emissão de sistema radicular (Goulart, Xavier, & Dias, 2010; Borges, Xavier, Oliveira, Melo, & Rosado, 2011; Melo, Xavier, Paiva, & Borges, 2011).

Diante disto, essa revisão objetivou apresentar os resultados de estudos sobre os principais fatores que influenciam no enraizamento de estacas e miniestacas de erva-mate para produção de mudas.

Quanto ao método empregado para a realização da pesquisa, utilizou-se de revisão bibliográfica sobre os fatores que influenciam no enraizamento de estacas e miniestacas de erva-mate para produção de mudas, abordando artigos científicos publicados a partir de 2009 com propagação vegetativa por estaquia e miniestaquia de *Ilex paraguariensis*.

## 2. Revisão Bibliográfica

Vários fatores interferem no enraizamento de estacas e miniestacas de espécies lenhosas utilizadas na silvicultura brasileira. Dentre eles, pode-se citar a variabilidade e potencial genético da espécie, seu balanço hormonal, a concentração interna de seus inibidores e o aspecto nutricional (Alfenas, Zauza, Mafia, & Assis, 2009; Xavier et al., 2009). Outros fatores que também interferem no enraizamento são a idade dos propágulos (se é derivado de plantas jovens, rejuvenescidas ou maduras), estação do ano em que a coleta é realizada, características inerentes ao substrato, uso de hormônios reguladores de crescimento e fatores ambientais (luminosidade, umidade e temperatura) (Xavier et al., 2009).

Para a erva-mate, a clonagem é viável uma vez que esta espécie possui boa capacidade em formar brotações e boa capacidade em enraizar estacas. A propagação por miniestaquia é vantajosa por tratar de materiais jovens ou rejuvenescidos, que tem apresentado bons resultados de enraizamento e sobrevivência (Pimentel, 2016; Stuepp, Wendling, Koehler, & Zuffellato-Ribas, 2015; Wendling & Santin, 2015).

### 2.1. Hormônios vegetais

Os hormônios vegetais controlam todas as fases de desenvolvimento e crescimento da planta, ou seja, desde os processos de formação do embrião até a morte da planta (Stuepp, Bitencourt, Wendling, Koehler, & Zuffellato-Ribas, 2017; Stuepp, Wendling, Trueman, Koehler, & Zuffellato-Ribas, 2017). São exemplos de hormônios vegetais as estrigolactonas, ácido abscísico, citocininas, etileno, brassinosteróides, jasmonatos, giberelinas e auxinas (Boyer et al., 2014). As auxinas (AIA) endógenas afetam diretamente o crescimento radicular e as brotações (Tivendale & Cohen, 2015), principalmente na alongação e divisão celular (Velasquez, Barbez, Kleine-Vehn, & Estevez, 2016).

De acordo com Kramer e Aackelsberg (2015), a saturação de auxinas endógenas nos vegetais são consequências de seus processos de formação, translocação, conjugação (auxinas

endógenas e exógenas) e catálise. O ácido indol-3-butírico (AIB) é uma importante auxina endógena, pois, se redistribui do local de síntese (meristemas apicais) para porções inferiores do caule (Stuepp, Bitencourt et al., 2017).

Pesquisas relataram que as auxinas induzem a geração de raízes em tecidos que não são parte do sistema radicular. Além do AIB e AIA, o ácido 1-naftalenoacético (ANA) também atua como indutor de enraizamento em estacas e miniestacas, sendo manipulado como promotor de enraizamento adventício na propagação vegetativa clonal (Rasmussen, Hosseini, Hajirezaei, Druege, & Geelen, 2014; Steffens & Rasmussen, 2016).

A obtenção de mudas vigorosas por propagação vegetativa de plantas lenhosas, como é o caso da erva-mate, não é tarefa fácil, mesmo adotando tecnologias modernas, principalmente se tratando de explantes de plantas maduras (Wendling, Trueman, & Xavier, 2014a,b; Osterc & Stamper, 2015). A avaliação da concentração dos hormônios vegetais presentes nos propágulos e suas interferências são de suma importância para ampliar e efetivar métodos de propagação vegetativa (Stuepp, Bitencourt et al., 2017; Stuepp, Wendling et al., 2017).

## **2.2. Efeito do ambiente**

Brondani, Araujo, Wendling e Kratz (2008) avaliaram os efeitos do ambiente (casa de vegetação simples e casa de vegetação com controle de temperatura e umidade) sobre o enraizamento e sobrevivência de miniestacas de três clones (A7, A21 e A35) de erva-mate. Os autores encontraram 51,8 a 71,9% de sobrevivência e não houve efeito do ambiente sobre a sobrevivência das miniestacas. Entretanto, o enraizamento foi maior no clone A35 (com 62,5% de enraizamento) quando manejado no ambiente controlado. Ainda, o ambiente controlado proporcionou maior número de folhas e das brotações emitidas.

Segundo Santin et al. (2015) e Stuepp, Bitencourt et al. (2017), o enraizamento de miniestacas de erva-mate pode ser negativamente influenciado por condições de altas temperaturas, comumente observadas durante o verão, visto que se trata de uma espécie de ocorrência em regiões de clima subtropical. As condições de temperatura usadas para enraizamento de estacas de erva-mate são entre 20 a 30 °C, e a umidade relativa do ar em torno de 85%, obtidas via nebulização intermitente dentro da casa de vegetação (Wendling & Santin, 2015).

No que diz respeito à luminosidade, trata-se de uma planta de crescimento secundário, e a presença de estômatos na face inferior da folha permite seu desenvolvimento tanto em áreas sombreadas quanto em pleno sol. Porém, trabalhos recentes têm utilizado sombreamento de 50% para produção de mudas de erva-mate em casa de vegetação, com finalidade de simular a condição ambiental de ocorrência nativa da espécie (Barbosa et al., 2018).

### **2.3. Sazonalidade**

Na produção de miniestacas de erva-mate, a estação do ano em que são coletados os explantes pode ter estreita relação com a taxa de enraizamento e sobrevivência. Na primavera e verão as plantas geralmente estão em fase de crescimento vegetativo e as estacas apresentam-se mais herbáceas. Durante o outono e inverno, as plantas de erva-mate, tendem a produzir ramos mais lenhosos, em virtude de seu repouso fisiológico (Pizzatto et al., 2011).

Stuepp, Bitencourt et al. (2017) avaliaram os efeitos da época de coleta sobre o enraizamento de estacas de erva-mate e constataram que, para o material propagativo coletado de plantas de 12 anos, o verão teve efeito negativo sobre o enraizamento, levando em consideração o número e comprimento de raízes. Esse efeito pode estar relacionado à temperatura visto que a erva-mate é uma espécie de clima subtropical.

No período de dormência fisiológica, os fotoassimilados, principalmente carboidratos responsáveis pelo fornecimento de energia para a formação de raízes, estão em maiores concentrações no caule (Denaxa, Vemmos, & Roussos, 2012), o que justifica melhores índices de enraizamento da erva-mate no outono.

### **2.4. Idade cronológica da planta matriz**

Wendling et al. (2014a,b) citaram que durante o crescimento e desenvolvimento de plantas lenhosas ocorrem alterações bioquímicas, fisiológicas e morfológicas nos tecidos vegetais, que resultam em implicações sobre a totipotência celular (capacidade de uma célula se diferenciar e formar tecidos), sendo que tecidos de plântulas jovens possuem maior plasticidade em resposta às induções ambientais para o enraizamento radicular adventício.

Segundo Stuepp, Bitencourt et al. (2017) e Stuepp, Wendling et al. (2017), o fator que mais influencia no desenvolvimento de raízes adventícias é o vigor da planta matriz, que

é proporcionalmente maior conforme a juvenilidade do material, independentemente da estação do ano e a concentração de hormônios indutores de enraizamento (AIA, AIB, ANA) utilizados na propagação vegetativa.

A seleção de genótipos para gerações clonais deve ser feita na idade mais jovem possível, devido à seleção ser baseada em peso de folhas que, além de ser trabalhosa (pois implica em poda e separação dos ramos), é praticamente impossível a partir dos 4,5 anos de idade (Santin et al., 2015; Sturion, Stuepp, & Wendling, 2017; Wendling, Sturion, Reis, Stuepp, & Peña, 2016).

Por outro lado, Wendling et al. (2018) encontraram que a seleção de matrizes aos 6,5 anos de idade pode proporcionar ganhos significativos para o melhoramento de erva-mate. Entretanto, não se deve basear apenas na produção de massa de folhas, mas também em características químicas importantes das folhas, tais como as análises foliares de compostos químicos relevantes (teor de cafeína, antioxidantes, etc.) para garantir a qualidade do produto final.

Outras técnicas utilizadas para obtenção de explantes jovens ou rejuvenescidas, e que também servem para resgate de plantas superiores, é a indução de brotações epicormicas, por anelamento ou decepa. Conforme Stuepp et al. (2015) e Stuepp, Bitencourt, Wendling, Koehler e Zuffellato-Ribas (2016), essas técnicas são eficientes para induzir brotações, mas, o fator idade da planta também influencia quanto a esta característica, sendo que as plantas mais jovens geralmente apresentam maior número e comprimento de brotações. Ainda, o fator sazonalidade também é evidenciado, sendo que no período de inverno é verificado maior índice de brotações laterais.

## **2.5. Substratos**

Dentre os fatores que influenciam no crescimento e desenvolvimento das mudas de espécies florestais em fase de viveiro, é de suma importância a combinação adequada dos componentes que formam o substrato, visando a obtenção de adequadas propriedades físicas e químicas do meio de crescimento, a fim de promover sustentação física, aeração, capacidade de drenagem, retenção de água e disponibilização de nutrientes (Kratz, Wendling, Pires, & Stuepp, 2014; Zavistanovicz et al., 2017).

A utilização de resíduos orgânicos como componentes dos substratos infere em menor custo com adubações, que por sua vez, deve ser avaliada junto ao substrato para geração de

plântulas sadias (Trazzi, Caldeira, Passos, & Gonçalves, 2013; Richardson, Silva, & Simões, 2014).

Comercialmente são disponibilizados substratos com formulações prontas para uso na produção de mudas, constituídos em sua base, por casca de pinus estabilizada e turfa (Caldeira et al., 2011). Apesar disso, de acordo com a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (ABRAF, 2013), está ocorrendo uma retração de plantio do gênero *Pinus* no Brasil, que, somada à sua utilização para geração de energia, promoverá declínio na oferta de casca de pinus. Outro importante constituinte dos substratos é a turfa, que é amplamente utilizada devido à sua capacidade de retenção de água e proporcionar macroporosidade ao meio de crescimento, porém, é um recurso natural não renovável (Kratz et al., 2014).

A casca de arroz carbonizada é outro subproduto industrial com potencial para utilização na formulação de substratos devido ao baixo custo, à capacidade de gerar macroporosidade no meio de crescimento, à esterilidade, à baixa densidade e por apresentar alta disponibilidade em localidades próximas às produtoras e beneficiadoras de arroz. A casca de arroz carbonizada deve ser misturada com outros componentes, como a fibra de coco, vermiculita e casca de pinus, a fim de melhorar as características físicas do substrato (Kratz, Wendling, Nogueira, & Souza, 2013).

## **2.6. Sistema semi-hidropônico e soluções nutritivas**

Os solos das regiões de ocorrência natural da erva-mate são naturalmente, em sua maioria, de elevada acidez e de baixa disponibilidade de nutrientes minerais, tais como cálcio (Ca), magnésio (Mg), nitrogênio (N), potássio (K) e fósforo (P) (Santin, Benedetti, Bastos et al., 2013; Barbosa et al., 2018). Santin, Benedetti, Bastos et al. (2013) citaram que para um bom crescimento de raízes, a ordem decrescente de exigência dos macronutrientes é  $P > N > Ca > K > Mg$ .

A produção de miniestacas de erva-mate em sistema semi-hidropônico permite a obtenção de mudas mais vigorosas em menor intervalo de tempo. Geralmente, as soluções nutritivas usadas no sistema semi-hidropônico para cultivo de miniestacas e minicepas de erva-mate foram adaptadas daquelas usadas para o eucalipto (Wendling, Dutra, & Grossi, 2007). Recentemente foram formuladas novas soluções nutritivas apresentando bons resultados de enraizamento (Benedetti et al., 2017).

## 2.7. Efeitos do alumínio no desenvolvimento do sistema radicular da erva-mate

A erva-mate é uma espécie que ocorre naturalmente em solos com elevada acidez e, geralmente, sob alta atividade de alumínio ( $\text{Al}^{3+}$ ) (Santin, Benedetti, Kaseker et al., 2013), que justifica o elevado teor deste elemento encontrado nas folhas da espécie (Barbosa, Zambon, Motta, & Wendling, 2015; Oliva, Reissmann, Gaiad, Oliveira, & Sturion, 2014). Em geral, encontra-se pouca expressividade da prática da calagem para o crescimento da erva-mate, sendo a espécie considerada tolerante aos efeitos tóxicos do  $\text{Al}^{3+}$  (Benedetti et al., 2017; Horst, Wang, & Eticha, 2010). No entanto, o Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná (NEPAR-SBCS, 2019) recomenda a aplicação de calcário para suprimento de Ca e Mg, quando o solo se apresenta deficiente nestes nutrientes.

As dimensões do sistema radicular são importantes atributos para determinar o progresso do crescimento e desenvolvimento do sistema radicular. Na maioria das espécies vegetais cultiváveis, o crescimento de raízes é inibido em poucas horas após exposto ao  $\text{Al}^{3+}$ . Porém, no caso da erva-mate o efeito é oposto, sendo que o  $\text{Al}^{3+}$  pode estimular o desenvolvimento do sistema radicular. Benedetti et al. (2017) verificaram que, mesmo após 50 dias do início do experimento, os maiores valores de comprimento e volume de raízes de vários clones de erva-mate foram obtidos quando submetidos aos tratamentos com doses de  $\text{Al}^{3+}$  superiores a  $1500 \mu\text{mol L}^{-1}$ . Diante disso, constata-se o possível efeito benéfico do  $\text{Al}^{3+}$  na estimulação do enraizamento em estacas e miniestacas de erva-mate.

## 3. Considerações Finais

Ao efetuar a propagação clonal de erva-mate é imprescindível o conhecimento sobre os fatores que interferem no processo de enraizamento, balanço hormonal, utilização de indutores de enraizamento, época de coleta do propágulo, idade cronológica de progenitores, ambiente de enraizamento, substratos e soluções nutritivas.

O alumínio é um elemento benéfico para o enraizamento adventício de miniestacas de erva-mate, e pode ser utilizado criteriosamente junto à solução nutritiva em sistemas semi-hidropônicos.

A propagação vegetativa clonal de erva-mate por miniestaquia é viável em escala comercial, pois apresenta maior eficiência na propagação de clones, maior percentual de enraizamento, redução de custos com coleta e transporte de brotações, redução da área

necessária para formar o jardim clonal, tornando as atividades de manejo mais eficientes. Além disso, permite disponibilizar mudas com maior qualidade e velocidade de emissão de sistema radicular, além de propiciar a obtenção de mudas de genética superior, homogêneas e mais produtivas.

### **Agradecimentos**

Ao CNPq, concessão # 461553/2014-7.

À CAPES, código de financiamento 001.

### **Referências**

ABRAF – Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas (2013). *Anuário estatístico da ABRAF 2013, ano base 2012*. Brasília: ABRAF. Acesso em 05 de abril de 2020, em <https://www.ipef.br/estatisticas/relatorios/anuario-ABRAF13-BR.pdf>

Alfenas, A. C., Zauza, E. A. V., Mafia, R. G., & Assis, T. (2009). *Clonagem e doenças do eucalipto* (2ª ed.). Viçosa, MG: UFV.

Barbosa, J. Z., Motta, A. C., Consalter, R., Poggere, G. C., Santin, D., & Wendling, I. (2018) Plant growth, nutrients and potentially toxic elements in leaves of yerba mate clones in response to phosphorus in acid soils. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 90(1), 557-571. Acesso em 05 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201820160701>

Barbosa, J. Z., Zambon, L. M., Motta, A. C. V., & Wendling, I. (2015). Composition, hot-water solubility of elements and nutritional value of fruits and leaves of yerba-mate. *Ciência e Agrotecnologia*, 39(6), 593-603. Acesso em 05 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542015000600006>

Benedetti, E. L., Santin, D., Barros, N. F. de, Pereira, G. L., Martinez, H. P., & Neves, J. C. L. (2017). Alumínio estimula o crescimento radicular de erva-mate? *Pesquisa Florestal*

*Brasileira*, 37(90), 139-147. Acesso em 05 de abril de 2020, em  
<https://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/view/983/568>

Bergottini, V. M., Oteghi, M. B., Sosa, D. A., Zapata, P. D., Mulot, M., Rebord, M., Zopfi, J., Wiss, F., Benrey, B., & Junier, P. (2015). Bio-inoculation of yerba mate seedlings (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) with native plant growth-promoting rhizobacteria: a sustainable alternative to improve crop yield. *Biology and Fertility of Soils*, 51, 749-755. Acesso em 05 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-015-1012-5>

Borges, S. R., Xavier, A., Oliveira, L. S., Melo, L. A., & Rosado, A. M. (2011). Enraizamento de miniestacas de clones híbridos de *Eucalyptus globulus*. *Revista Árvore*, 35(3), 425-434. Acesso em 05 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000300006>

Boyer, F. D., de Saint Germain, A., Pouvreau, J. B., Clavé, G., Pillot, J. P., Roux, Rasmussen, A., Depuydt, S., Laouressgues, D., Frey, N. F. dit, Heugebaert, T. S. A., Stevens, C. V., Geelen, D., Goormachtig, S., & Rameau, (2014). New strigolactone analogs as plant hormones with low activities in the rhizosphere. *Molecular plant*, 7(4), 675-690. Acesso em 05 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.1093/mp/sst163>

Brondani, G. E., Araujo, M. A. de, Wendling, I., & Kratz, D. (2008). Enraizamento de miniestacas de erva-mate sob diferentes ambientes. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 57, 29-38. Acesso em 05 de abril de 2020, em  
[https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/17105/1/PFB\\_57\\_p29-38.pdf](https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/17105/1/PFB_57_p29-38.pdf)

Caldeira, M. V. W., Wendling, I., Penchel, R. M., Gonçalves, E. O., Kratz, D., & Trazzi, P. A. (2011). Propriedades de substratos para produção de mudas florestais. In: Caldeira, M. V. W., Garcia, G. O., Gonçalves, E. O., Arantes, M. D. C., Fiedler, N. C. *Contexto e perspectivas da área florestal no Brasil* (pp. 141-160). Alegre: Suprema.

Cardozo Junior, E.L., & Morand, C. (2016). Interest of mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) as a new natural functional food to preserve human cardiovascular health – A review. *Journal of Functional Foods*, 21, 440-454. Acesso em 05 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.12.010>

Dahmer, T., Berger, M., Barlette, A. G., Reck JR., J., Segalin, J., Verza, S., Ortega, G. G., Gnoatto, S. C. B., Guimarães, J. A., Verli, H., & Gosmann, G. (2012). Antithrombotic effect of Chikusetsusaponin Iva isolated from *Ilex paraguariensis* (Mate). *Journal of Medicinal Food*, 15(12), 1073-1080. Acesso em 05 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.1089/jmf.2011.0320>

Daniel, O. (2009). *Erva mate: sistema de produção e processamento industrial*. Dourados, MS: UFGD/UEMS.

Denaxa, N. K., Vemmos, S. N., & Roussos, P. A. (2012). The role of endogenous carbohydrates and seasonal variation in rooting ability of cuttings of an easy and a hard to root olive cultivars (*Olea europaea* L.) *Scientia Horticulturae*, 143, 19-28. Acesso em 05 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.05.026>

Dias, P. C., Oliveira, L. S. de, Xavier, A., & Wendling, I. (2012). Estaquia e miniestaquia de espécies florestais lenhosas do Brasil. *Pesquisa Florestal Brasileira*, 32(72), 453-462. Acesso em 05 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.4336/2012.pfb.32.72.453>

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations (2017). *FAOSTAT*. Acesso em 05 de abril de 2020, em <http://www.fao.org/faostat/en/#home>

Gao, H., Liu, Z., Qu, X., & Zhao, Y. (2013). Effects of yerba mate tea (*Ilex paraguariensis*) on vascular endothelial function and liver lipoprotein receptor gene expression in hyperlipidemic rats. *Fitoterapia*, 84, 264-272. Acesso em 05 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2012.12.024>

Goulart, P. B., Xavier, A., & Dias, J. M. M. (2010). Efeito de antioxidantes no enraizamento de miniestacas de clones de *Eucalyptus Grandis* x *E. urophylla*. *Revista Árvore*, 34(3), 407-415. Acesso em 05 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622010000600001>

Horst, W. J., Wang, Y., & Eticha, D. (2010). The role of the root apoplast in aluminium-induced inhibition of root elongation and in aluminium resistance of plants: a review. *Annals of botany*, 106(1), 185-197. Acesso em 05 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcq053>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2015). Sistema IBGE de recuperação automática - SIDRA. Acesso em 05 de abril de 2020, em <https://sidra.ibge.gov.br/home/ipca15/brasil>

Kapp Junior, C., Zarpellon, F. R., Dalazen, L. L., & Souza, A. (2017). A cultura da Erva-mate (*Ilex paraguariensis*) em sistema de cultivo convencional e orgânico como alternativa de renda ao pequeno proprietário rural. In XXIV Congresso Brasileiro de Custos, Florianópolis. Acesso em 05 de abril de 2020, em <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/4284/4284>

Kramer, E. M., & Ackelsberg, E. M. (2015). Auxin metabolism rates and implications for plant development. *Frontiers in Plant Science*, 6, 150. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00150>

Kratz, D., Wendling, I., Nogueira, A. C., & Souza, P. V. de. (2013). Propriedades físicas e químicas desubstratos renováveis. *Revista Árvore*, 37(6), 1103-1113. Acesso em 06 de abril de 2020, em <http://hdl.handle.net/10183/107433>

Kratz, D., Wendling, I., Pires, P. P., & Stuepp, C. A. (2014). Produção de mudas de erva-mate por miniestaquia em substratos renováveis. *Floresta*, 45(3), 609-616. Acesso em 06 de abril de 2020, em <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1025706>

Lückemeyer, D. D., Müller, V. D. M., Moritz, M. I. G., Stoco, P. H., Schenkel, E. P., Barardi, C. R. M., Reginatto, F. H., & Simões, C. M. O. (2012). Effects of *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. (Yerba Mate) on herpes simplex virus types 1 and 2 replication. *Phytotherapy Research*, 26(4), 535-540. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.1002/ptr.3590>

Melo, L. A. de, Xavier, A., Paiva, N. de, & Borges, S. R. (2011). Otimização do tempo necessário para o enraizamento de miniestacas de clones híbridos de *Eucalyptus grandis*. *Revista Árvore*, 35(4), 759-767. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000500001>

NEPAR-SBCS – Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Estadual Paraná (2019). *Manual de Adubação e Calagem para o Estado do Paraná* (2ª ed). Curitiba: NEPAR-SBCS.

Oliva, E. V., Reissmann, C. B., Gaiad, S., Oliveira, E. B. de, & Sturion, J. A. (2014). Composição nutricional de procedências e progênies de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) cultivadas em Latossolovermelho distrófico. *Ciência Florestal*, 24(4), 793-805. Acesso em 06 de abril de 2020, em <https://www.redalyc.org/pdf/534/53432889001.pdf>

Oliveira, S. V. de, & Waquil, P. D. (2015). Dynamics of production and commercialization of yerba mate in Rio Grande do Sul, Brazil. *Ciência Rural*, 45(4), 750-756. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20140276>

Osterc, G., & Štampar, F. (2015). Maturation changes auxin profile during the process of adventitious rooting in *Prunus*. *European Journal of Horticultural Science*, 80(5), 225-230. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI: <http://dx.doi.org/10.17660/eJHS.2015/80.5.4>

Pérez, J. M., Maldonado, M. E., Rojano, B. A., Alzate, F., Sáez, J., & Cardona, W. (2014). Comparative antioxidant, antiproliferative and apoptotic effects of *Ilex laurina* and *Ilex paraguariensis* on colon cancer cells. *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, 13(8), 1279-1286. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.4314/tjpr.v13i8.12>

Pimentel, N. (2016). *Miniestaquia e qualidade de mudas de erva-mate*. (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria - UFSM, Santa Maria, RS. Acesso em 06 de abril de 2020, em <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/8776?show=full>

Pizzatto, M., Wagner Júnior, A., Luckmann, D., Pirola, K., Cassol, D. A., & Mazaro, S. M. (2011). Influência do uso de AIB, época de coleta e tamanho de estaca na propagação

vegetativa de hibisco por estaquia. *Revista Ceres*, 58(4), 487-92. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.1590/S0034-737X2011000400013>

Rasmussen, A., Hosseini, S. A., Hajirezaei, M. R., Druge, U., & Geelen, D. (2014). Adventitious rooting declines with the vegetative to reproductive switch and involves a changed auxin homeostasis. *Journal of experimental botany*, 66(5), 1437-1452. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/eru499>

Richardson, B. G. S., Silva, M. R., & Simões, D. (2014). Substrates and controlled-release fertilizations on the quality of eucalyptus cuttings. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 18(11), 1124-1129. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v18n11p1124-1129>

Santin, D., Benedetti, E. L., Bastos, M. C., Kaseker, J. F., Reissmann, C. B., Brondani, G. E., & Barros, N. F. D. (2013). Growth and nutritional composition of erva-mate as affected by nitrogen, phosphate and potassium fertilization. *Ciência Florestal*, 23(2), 365-377. Acesso em 06 de abril de 2020, em <http://hdl.handle.net/1807/45293>

Santin, D., Benedetti, E. L., Kaseker, J. F., Bastos, M. C., Reissmann, C. B., Wendling, I., & Barros, N. F. de (2013). Nutrição e crescimento da erva-mate submetida à calagem. *Ciência Florestal*, 23(1), 55-66. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.5902/198050988439>

Santin, D., Wendling, I., Benedetti, E. L., Morandi, D., & Domingos, D. M. (2015). Survival, growth and productivity of maté plants produced by seedlings and juvenile mini-cuttings. *Ciência Florestal*, 25(3), 571-579. Acesso em 06 de abril de 2020, em <http://www.bioline.org.br/abstract?cf15054>

SEAB – Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (2014). Departamento de Economia Rural. *Produtos Florestais - Erva-mate*. Acesso em 06 de abril de 2020, em [http://www.fiepr.org.br/sindicatos/sindimate/uploadAddress/erva\\_mate\\_14\\_ago\\_2013\[45349\].pdf](http://www.fiepr.org.br/sindicatos/sindimate/uploadAddress/erva_mate_14_ago_2013[45349].pdf)

- Steffens, B., & Rasmussen, A. (2016). The physiology of adventitious roots. *Plant physiology*, 170(2), 603-617. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.15.01360>
- Stuepp, C. A., Bitencourt, J. D., Wendling, I., Koehler, H. S., & Zuffellato-Ribas, K. C. (2017). Age of stock plants, seasons and IBA effect on vegetative propagation of *Ilex paraguariensis*. *Revista Árvore*, 41(2), e410204. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-90882017000200004>
- Stuepp, C. A., Bitencourt, J. de, Wendling, I., Koehler, H. S., & Zuffellato-Ribas, K. C. (2016). Indução de brotações epicórmicas por meio de anelamento e decepa em erva-mate. *Ciência Florestal*, 26(3), 1009-1022. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.5902/19805098242>
- Stuepp, C. A., Wendling, A., Koehler, H. S., Zuffellato-Ribas, K. C. (2015). Estaquia de árvores adultas de *Paulownia fortunei* var. mikado a partir de brotações epicórmicas de decepa. *Ciência Florestal*, 25(3) 667-677. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.5902/1980509819617>
- Stuepp, C. A., Wendling, I., Trueman, S. J., Koehler, H. S., & Zuffellato-Ribas, K. C. (2017). The Use of auxin quantification for understanding clonal tree propagation. *Forests*, 8(1), 27. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.3390/f8010027>
- Sturion, J. A., Stuepp, C. A., & Wendling, I. (2017). Genetic parameters estimates and visual selection for leaves production in *Ilex paraguariensis*. *Bragantia*, 76(4), 492-500. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.2016.419>
- Tivendale, N. D., & Cohen, J. D. (2015). Analytical history of auxin. *Journal of plant growth regulation*, 34(4), 708-722. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.1007/s00344-015-9519-4>
- Trazzi, P. A., Caldeira, M. V. W., Passos, R. R., & Gonçalves, E. O. (2013). Substratos de origem orgânica para produção de mudas de teca (*Tectona grandis* Linn. F.). *Ciência*

*Florestal*, 23(3), 401-409. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI:

<https://doi.org/10.5902/1980509810551>

Velasquez, S. M., Barbez, E., Kleine-Vehn, J., & Estevez, J. (2016). Auxin and cellular elongation. *Plant physiology*, 170, 1206-1215. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI:

<https://doi.org/10.1104/pp.15.01863>

Wendling, I., Dutra, L. F., & Grossi, F. (2007). Produção e sobrevivência de miniestacas e minicepas de erva-mate cultivadas em sistema semi-hidropônico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42(2), 289-292. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI:

<https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000200019>

Wendling, I., Sturion, J. A., Stuepp, C. A., Reis, C. A. F., Ramalho, M. A. P., & Resende, M. D. V. D. (2018). Early selection and classification of yerba mate progênies. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53(3), 279-286. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI:

<https://doi.org/10.1590/s0100-204x2018000300002>

Wendling, I., Trueman, S. J., & Xavier, A. (2014a). Maturation and related aspects in clonal forestry—Part I: concepts, regulation and consequences of phase change. *New Forests*, 45(4), 449-471. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-014-9421-0>

Wendling, I., Trueman, S. J., & Xavier, A. (2014b). Maturation and related aspects in clonal forestry—part II: reinvigoration, rejuvenation and juvenility maintenance. *New Forests*, 45(4), 473-486. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.1007/s11056-014-9415-y>

Wendling, I., & Santin, D. (2015). *Propagação e nutrição de erva-mate*. Brasília: Embrapa.

Wendling, I., Sturion, J. A., Reis, C. A. F., Stuepp, C. A., & Peña, M. L. P. (2016). Indirect and expedite assessment of *Ilex paraguariensis* commercial yield. *Cerne*, 22(3), 241-248.

DOI: 10.1590 / 01047760201622032189. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI:

<https://doi.org/10.1590/01047760201622032189>

Xavier, A., Wendling, I., & Silva., R. L. (2009). *Silvicultura clonal: princípios e técnicas*. Viçosa, MG: UFV.

Zavistanovicz, T. C., Araujo, M. M., Aimi, S. C., Flores, R., Berghetti, Á. L., & Deponti, G. (2017). Morphophysiological responses of *Ilex paraguariensis* seedlings to different substrates and fertilizations. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 21(2), 111-115. Acesso em 06 de abril de 2020, em DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v21n2p111-115>

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Everton Luiz de Almeida Barbosa – 25%

Tayná Jornada Ben – 20%

Poliana Horst Petranski – 5%

Bruno Patias Lena – 15%

Kátia Cylene Lombardi – 5%

Luciano Farinha Watzlawick – 5%

Fabício William Ávila – 25%