










## ARTIGO ORIGINAL

## Sazonalidade na produtividade de miniestacas e rizogênese de genótipos de *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.

### Seasonality in mini-cuttings productivity and rizogenesis of *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.

Leandro Marcolino Vieira<sup>1</sup> , Renata de Almeida Maggioni<sup>1</sup> , Manoela Mendes Duarte<sup>1</sup> , Natália Saudade de Aguiar<sup>1</sup> , Mônica Moreno Gabira<sup>1</sup> , Jéssica de Cássia Tomasi<sup>1</sup> , Henrique Soares Koehler<sup>1</sup> , Ivar Wendling<sup>2</sup> , Katia Christina Zuffellato-Ribas<sup>1</sup> 

<sup>1</sup>Universidade Federal do Paraná – UFPR, Curitiba, PR, Brasil

<sup>2</sup>Embrapa Florestas, Colombo, PR, Brasil

**Como citar:** Vieira, L. M., Maggioni, R. A., Duarte, M. M., Aguiar, N. S., Gabira, M., Tomasi, J. C., Koehler, H. S., Wendling, I., & Zuffellato-Ribas, K. C. (2023). Sazonalidade na produtividade de miniestacas e rizogênese de genótipos de *Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.. *Scientia Forestalis*, 51, e3930. <https://doi.org/10.18671/scifor.v51.16>

### Resumo

A propagação vegetativa da erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.) é uma técnica importante e que possibilita a manutenção de características de interesse, como alta produtividade e composição química específica. No entanto, essa técnica ainda apresenta limitações e necessita de protocolos eficientes, tanto para a produção de propágulos quanto para o enraizamento. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a produtividade de miniestacas, bem como o potencial rizogênico de quinze genótipos de erva-mate com a utilização de ácido indolbutírico em diferentes épocas do ano. A produtividade de miniestacas por m<sup>2</sup> foi avaliada no momento da coleta dos propágulos, em quatro épocas do ano. Para avaliação da rizogênese, o experimento seguiu o delineamento inteiramente casualizado, em arranjo fatorial triplo (15 genótipos x 4 épocas de coleta x 2 tratamentos de ácido indolbutírico - AIB), com quatro repetições de 10 miniestacas (5 ± 1 cm de comprimento); a base das miniestacas foi imersa em 0 (controle) e 3000 mg L<sup>-1</sup> de AIB, por 10 segundos. Após 120 dias em casa de vegetação, foram avaliados: porcentagem de enraizamento, número médio de raízes, retenção foliar e mortalidade. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. A maior produtividade de miniestacas por m<sup>2</sup> foi obtida no genótipo EC21 (até 961,7 miniestacas m<sup>-2</sup>) no verão e na primavera. As porcentagens de enraizamento variaram de 0% a 90%, sendo influenciadas pelo genótipo, estação do ano e uso de AIB. A coleta de primavera proporcionou os maiores índices de enraizamento para a maioria dos genótipos. No outono, a aplicação de AIB favoreceu o enraizamento adventício. Conclui-se que a produtividade e o enraizamento das miniestacas são influenciadas pelo genótipo e estação do ano, assim como a necessidade de AIB depende destes fatores.

**Palavras-chave:** Ácido indolbutírico; Enraizamento; Erva-mate; Propagação vegetativa; Estações do ano.

### Abstract

The vegetative propagation of yerba mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.) is an important technique that allows for the maintenance of characteristics of interest, such as high productivity and specific chemical composition. However, this technique still has limitations regarding the determination of efficient protocols, both for rooting and for propagule production. This research aimed to evaluate the productivity of mini-cuttings, as well as the rhizogenic potential of fifteen yerba mate genotypes using indole-butyric acid (IBA), at different times of the year. The productivity of mini-cuttings per m<sup>2</sup> was evaluated at propagules collection, in four seasons of the year. For rhizogenesis evaluation, we followed a completely randomized design, in a triple factorial arrangement (15 genotypes x 4 collection times x 2 IBA treatments), with four replications of 10 mini-cuttings (5 ± 1 cm in length); the mini-cuttings' base was immersed in 0 (control) and 3000 mg L<sup>-1</sup> of IBA, for 10 seconds. After 120 days in a greenhouse, we evaluated: the rooting percentage, the average number of roots, leaf retention, and mortality. The data

Fonte de financiamento: Nenhuma.

Conflito de interesse: Nada a declarar.

Autor correspondente: leandromarcolinovieira@gmail.com

Recebido: 10 julho 2022.

Aceito: 16 fevereiro 2023.

Editor: Mauro Valdir Schumacher.



Este é um artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o artigo científico seja corretamente citado.

were submitted to the analysis of variance and means were compared by the Scott-Knott test at 5% probability level. The highest mini-cutting productivity per m<sup>2</sup> was obtained in the EC21 genotype (961.7 mini-cuttings m<sup>2</sup>) in summer and spring. Rooting percentages ranged from 0 to 90%, influenced by genotype, season, and IBA concentration. The collection carried out in the spring provided the highest rooting rates for the majority of genotypes. In autumn there was a greater need to apply IBA for adventitious rooting. We conclude that productivity and rooting of mini-cuttings are influenced by genotype and season of the year, as well as need for IBA, depending on these factors.

**Keywords:** Indole-butyric acid; Rooting; Yerba Mate; Vegetative propagation; Seasons of the year.

## INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil - Aquifoliaceae) dispõe de inúmeros compostos bioativos, os quais conferem atividade antioxidante, anti-inflamatória, antitumoral, antiobesidade, hepatoprotetora, antimicrobiana, dentre outras (Heck & De Mejia, 2007; Bracesco et al., 2011; Prado Martin et al., 2013; Tamura et al., 2013). Essas características colocam a espécie em um patamar além do consumo tradicional (infusão na forma de chimarrão e tererê), abrangendo outros setores da indústria alimentícia, farmacêutica e cosmética (Dartora et al., 2013). Assim, o crescente interesse pela cultura da erva-mate tem suscitado estudos objetivando a seleção de materiais genéticos superiores, principalmente em termos de produtividade e qualidade da matéria-prima (Wendling et al., 2020).

A seleção de genótipos superiores aliada às técnicas de propagação vegetativa possibilitam a implantação de ervais mais homogêneos e produtivos, que forneçam produtos diferenciados e com maior valor agregado. Atualmente, o principal método de clonagem utilizado para erva-mate é a miniestaquia, sendo a capacidade de enraizamento dos propágulos uma característica de suma importância para o sucesso da propagação da espécie (Santin et al., 2015); todavia, o êxito do enraizamento está altamente condicionado ao material genético que se pretende propagar (Kratz et al., 2015; Santin et al., 2015; Duarte et al., 2019a). Em função disso, a seleção e escolha de genótipos se torna uma etapa indispensável na obtenção de mudas de qualidade.

Fatores como época de coleta dos propágulos, condição fisiológica da planta-mãe e a aplicação exógena de reguladores vegetais influenciam diretamente na formação do sistema radicial (Wendling & Santin, 2015). A associação entre sazonalidade e o potencial rizogênico está relacionada principalmente às condições ambientais que ocorrem nas diferentes épocas do ano, como temperatura e fotoperíodo, influenciando diretamente no processo de rizogênese (Osterc et al., 2016; Stuepp et al., 2015; Sá et al., 2018). Entretanto, são poucos os estudos que avaliam essa influência na produtividade de miniestacas e no enraizamento de genótipos de erva-mate (Pimentel et al., 2019). A determinação da época mais favorável ao enraizamento irá contribuir para o manejo e otimização na produção de mudas (Brondani et al., 2010; Sá et al., 2018).

A utilização de reguladores vegetais na propagação vegetativa de erva-mate é relatada em diversos estudos (Wendling & Santin, 2015; Stuepp et al., 2017; Sá et al., 2018; Duarte et al., 2019b; Pimentel et al., 2019), e indicada especialmente para genótipos com dificuldades de enraizamento (Wendling et al., 2020). O ácido indolbutírico (AIB) é uma das principais substâncias indutoras do enraizamento, e sua utilização promove a formação de um sistema radicial mais uniforme e vigoroso, contribuindo para a qualidade da muda (Pizzatto et al., 2011; Pop et al., 2011). A literatura traz resultados contraditórios quanto ao efeito da aplicação de AIB e das concentrações recomendadas; uma das hipóteses para este fato é que as respostas rizogênicas são dependentes do genótipo, e assim, se faz necessária a determinação de protocolos de propagação específicos para cada material genético. Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a produtividade de miniestacas, bem como o potencial rizogênico de genótipos de erva-mate com a aplicação de ácido indolbutírico em diferentes épocas do ano.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Material vegetal e condições de crescimento

Os genótipos estudados, com exceção de BRS BLD Aupaba (cultivar registrada sob o N°36545 no Registro Nacional de Cultivares - RNC), são oriundos de um teste de procedências e progênies

instalado em Ivaí, Paraná, Brasil (Wendling et al., 2018). Os genótipos foram selecionados por critérios de produtividade e composição química em estudos prévios, sendo utilizados: EC21, EC26, EC27, EC45, EC48, EC54, EC24, EC20, EC28, EC53, EC50, EC44, EC38, EC31 e BRS BLD Aupaba.

Os genótipos foram propagados via estaquia e então mantidos como minicepas em minijardim clonal, cultivados em sistema semi-hidropônico, em canaletas preenchidas com areia, em espaçamento de 15 cm × 15 cm (densidade de 44,44 minicepas m<sup>-2</sup>) (Wendling et al., 2020), mantidas em estufas de cultivo. As minicepas receberam fertirrigação via gotejamento três vezes ao dia, com vazão total de 5 L m<sup>-2</sup>, conforme recomendações de Wendling & Santin (2015). A solução nutritiva foi composta por: N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (156,0 mg L<sup>-1</sup>), N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (50,0 mg L<sup>-1</sup>), P (25,0 mg L<sup>-1</sup>), K<sup>+</sup> (200,0 mg L<sup>-1</sup>), Ca<sup>2+</sup> (200,0 mg L<sup>-1</sup>), Mg<sup>2+</sup> (45,0 mg L<sup>-1</sup>), S (76,9 mg L<sup>-1</sup>), B (1,5 mg L<sup>-1</sup>), Cu<sup>2+</sup> (0,1 mg L<sup>-1</sup>), Fe<sup>2+</sup> (5,0 mg L<sup>-1</sup>), Mn<sup>2+</sup> (1,0 mg L<sup>-1</sup>), Zn<sup>2+</sup> (0,7 mg L<sup>-1</sup>), Mo<sup>2-</sup> (0,07 mg L<sup>-1</sup>).

### Produtividade de miniestacas e rizogênese

A partir das brotações das minicepas foi realizada a coleta do material vegetal em quatro épocas do ano: 04/02/2019 (verão), 11/04/2019 (outono), 11/07/2019 (inverno) e 10/10/2019 (primavera). A produtividade de miniestacas por m<sup>2</sup> foi avaliada nas quatro épocas, no momento da coleta dos propágulos para preparo das miniestacas. Na coleta, em torno de 30% de folhas foram mantidas nas minicepas, além de brotações mais tenras ou com comprimento menor que 7 cm. As brotações foram coletadas nas primeiras horas do dia e mantidas em caixa de isopor com água.

As miniestacas foram preparadas com comprimento médio de 5 cm (±1 cm), com corte em bisel na porção basal e reto no ápice, mantendo-se um par de folhas inteiras na porção apical. Após o preparo das miniestacas, o número total de miniestacas provenientes de cada repetição foi contado, obtendo-se assim a produtividade de miniestacas por m<sup>2</sup>.

A fim de verificar o efeito do ácido indolbutírico nos genótipos estudados, antes do plantio, a base das miniestacas foi imersa em solução hidroalcolica (50% v/v) de AIB, na concentração de 3000 mg L<sup>-1</sup>, por 10 segundos. A base das miniestacas do tratamento controle (sem aplicação de AIB) foi imersa somente em água destilada por 10 segundos.

Posteriormente, as miniestacas foram plantadas em tubetes de polipropileno (55 cm<sup>3</sup>), preenchidos com substrato comercial, composto por turfa de *Sphagnum*, vermiculita expandida, casca de arroz carbonizada, calcário dolomítico, gesso agrícola, fertilizante NPK e micronutrientes. As características químicas e físicas do substrato informadas pelo fabricante foram: pH 5,0; condutividade elétrica 0,6 (mS cm<sup>-1</sup>); umidade máxima 55% (p/p); densidade de 150 kg m<sup>-3</sup> e 40% de capacidade de retenção de água (w/w). Após o plantio, as miniestacas foram mantidas em casa de vegetação com sistema de nebulização intermitente do tipo *fog* (vazão de 4 L hora<sup>-1</sup>), acionado automaticamente durante 15 segundos sempre que a umidade do ar atingia limite mínimo de 85%.

Transcorridos 120 dias foram avaliadas as variáveis: enraizamento - ENR (% de miniestacas com raízes de pelo menos 1 mm de comprimento), número médio de raízes por miniestaca - NR, retenção foliar - RF (% de miniestacas que mantiveram as folhas originais até o momento da avaliação) e mortalidade - MO (% de miniestacas com tecidos necrosados).

### Análise estatística

A análise de produtividade de miniestacas seguiu um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 15, sendo quatro épocas de coleta e 15 genótipos. Para cada genótipo foram utilizadas cinco repetições de cinco minicepas, totalizando 25 minicepas/genótipo. O experimento de potencial rizogênico também foi instalado em delineamento inteiramente casualizado, com esquema fatorial triplo 2 x 4 x 15, sendo dois tratamentos de AIB (controle e 3000 mg L<sup>-1</sup>), quatro épocas do ano (verão, outono, inverno e primavera) e 15 genótipos. Cada tratamento contou com quatro repetições de dez miniestacas.

As variâncias foram testadas quanto à homogeneidade pelo teste de Bartlett ( $p < 0,05$ ). Constatada a não homogeneidade das variâncias, os valores foram submetidos à transformação. A variável produtividade de miniestacas foi transformada pelo uso da raiz quadrada. Em seguida, procedeu-se a análise de variância, com 5% de significância. Havendo diferença significativa, a comparação de médias foi realizada pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade de erro.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação entre os fatores genótipo, aplicação de AIB e épocas do ano para as variáveis ENR, RF e MO. Para a variável NR houve interação dupla entre genótipos e aplicação de AIB, genótipos e épocas do ano e aplicação de AIB e épocas do ano. Para a variável produtividade de miniestacas houve interação entre os genótipos e as épocas do ano (Tabela 1).

**Tabela 1.** Análise de variância para produtividade de miniestacas  $m^{-2}$  (PMM), porcentagem de enraizamento (ENR), número médio de raízes (NR), retenção foliar (RF) e porcentagem de mortalidade (MO) de 15 genótipos de *Ilex paraguariensis* em quatro épocas do ano.

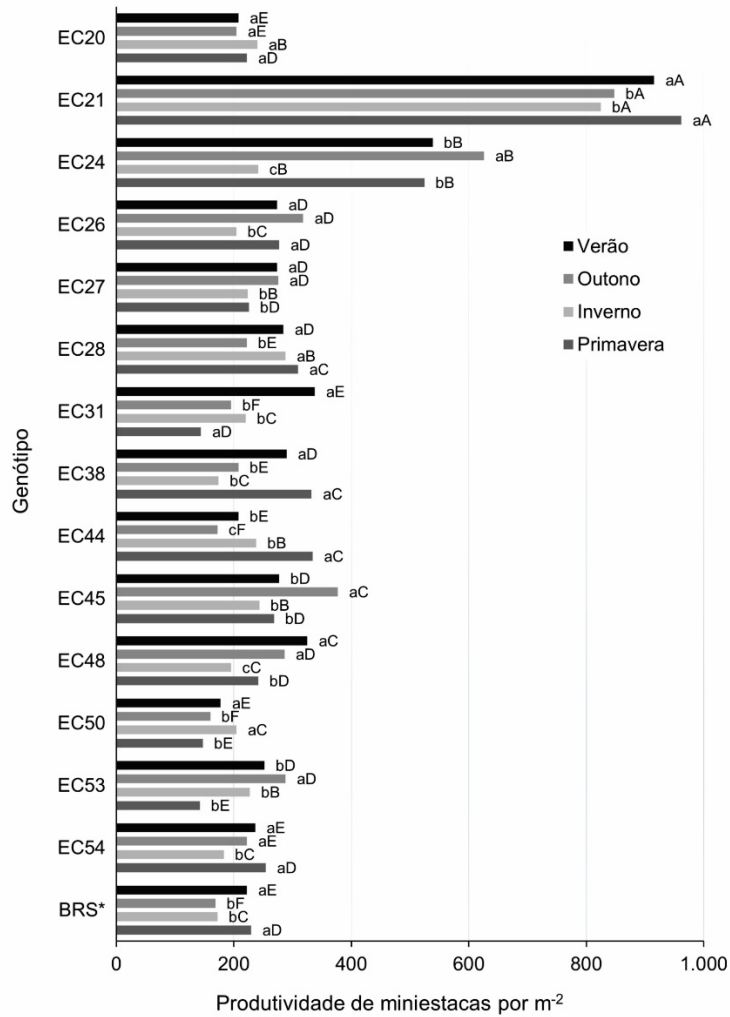
Fonte de variação	GL	Quadrado médio				
		PMM	ENR	NR	RF	MO
Genótipo (GEN)	14	318,44**	8304,86**	103,89**	11702,17**	5191,46**
Época (EST)	3	28,12**	11940,21**	159,99**	10698,89**	5416,88**
AIB	1	-	11900,21**	251,03**	3000,0**	1725,21**
GEN*EST	42	9,97**	1062,83**	20,66**	1227,01**	836,22**
GEN*AIB	14	-	596,64**	7,92**	134,38 <sup>ns</sup>	200,21 <sup>ns</sup>
EST*AIB	3	-	2715,21**	27,55**	10,0*	164,66 <sup>ns</sup>
GEN*EST*AIB	42	-	222,95*	4,74 <sup>ns</sup>	326,52**	222,99**
CV (%)		14,73	40,56	49,45	19,54	59,78

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < 0.01$ ); \* significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0.01 \leq p < 0.05$ ); ns não significativo ( $p \geq 0.05$ ). CV: coeficiente de variação.

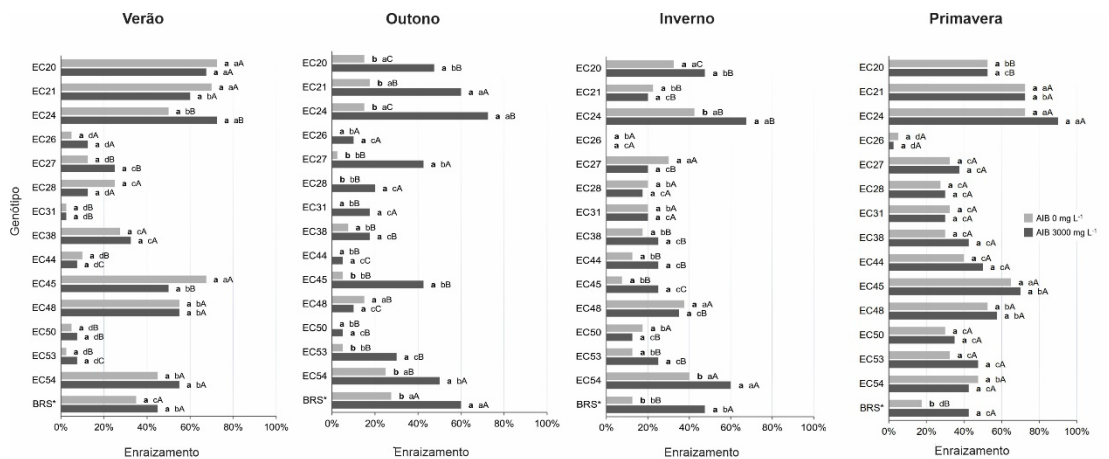
A maior produtividade de miniestacas foi obtida pelo genótipo EC21, superior aos demais em todas as estações, variando de 824,8 a 961,7 miniestacas  $m^{-2}$ . Para este genótipo, a primavera e o verão foram as estações mais produtivas (Figura 1). Entre os genótipos com a menor produtividade, destacou-se EC50, que apresentou os menores valores em todas as estações, variando de 147,5 a 204,4 miniestacas  $m^{-2}$  (Figura 1).

Dentre os principais fatores para o sucesso de programas de melhoramento e propagação vegetativa de plantas, deve-se considerar primeiramente o estabelecimento das minicepas em minijardins clonais e a produtividade de brotações ao longo de todo o ano. Diversos estudos avaliaram a produtividade de minicepas de erva-mate em sistema semi-hidropônico, recomendando a miniestaquia (Wendling et al., 2007; Wendling & Dutra, 2008; Pimentel et al., 2019). Wendling et al. (2007) obtiveram em média 291 miniestacas  $m^{-2}$ , média similar à obtida para alguns genótipos utilizados neste estudo, como EC26 e EC27. Pimentel et al. (2019) obtiveram até 145,8 miniestacas minicepa<sup>-1</sup> (14.580 miniestacas  $m^{-2}$ ), com padrão de 2 cm para um clone no verão. Apesar da menor produtividade apresentada em nosso estudo, acreditamos que os resultados obtidos foram satisfatórios; ainda nesta perspectiva, ressaltamos que houve grande influência do genótipo na produtividade das miniestacas, demonstrando que a coleta de propágulos da espécie é fortemente influenciada pelo material genético, devendo esta variável ser considerada na escolha dos clones a serem propagados comercialmente.

A porcentagem de enraizamento (Figura 2) variou de zero a 90%. O EC24 apresentou taxas de enraizamento superiores a 60% com 3000 mg L<sup>-1</sup> de AIB em todas as estações avaliadas, se destacando entre os melhores genótipos. Já o EC26 esteve entre os genótipos com resultados inferiores em todas as estações, independentemente da aplicação de AIB, menor que 20% de enraizamento. Esses resultados demonstram a dependência do fator genético na capacidade rizogênica da espécie; como já observado por Pimentel et al. (2019) e Sá et al. (2018). Sendo o potencial rizogênico um dos desafios para o estabelecimento de plantios clonais de erva-mate (Duarte et al., 2020), a taxa de enraizamento também deve ser considerada na seleção de materiais genéticos. Como exemplo, o genótipo EC21 seria capaz de produzir mais de 670 miniestacas enraizadas por  $m^{-2}$  somente na primavera, considerando a produtividade (961,7 miniestacas  $m^{-2}$ ) e a taxa de enraizamento (70%) nesta estação.



**Figura 1.** Produtividade de miniestacas m<sup>2</sup> de 15 genótipos de *Ilex paraguariensis*, em diferentes épocas do ano. Médias seguidas de uma mesma letra minúscula entre as diferentes épocas para cada genótipo e maiúsculas entre os genótipos dentro de uma mesma época não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. BRS\*= BRS BLD Aupaba. Considera-se 44,44 miniestacas m<sup>2</sup>.



**Figura 2.** Porcentagem de enraizamento de miniestacas de 15 genótipos de *Ilex paraguariensis*, tratadas ou não com ácido indolbutírico (0 e 3000 mg L<sup>-1</sup>), nas diferentes estações do ano. Médias seguidas de uma mesma letra em negrito entre as concentrações de AIB para cada genótipo dentro de uma mesma estação, minúscula entre os genótipos em cada tratamento com AIB dentro de cada estação e maiúsculas entre os mesmos genótipos nas diferentes estações em cada tratamento com AIB não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. BRS\*= BRS BLD Aupaba.

Em todas as estações do ano, pelo menos um genótipo apresentou diferença significativa entre os tratamentos de AIB. No outono, nove genótipos (EC21, EC27, EC45, EC54, BRS, EC24, EC20, EC28, EC53) obtiveram maiores porcentagens de enraizamento com a utilização de 3000 mg L<sup>-1</sup> de AIB. Enquanto no verão e na primavera, apenas os genótipos EC24 e BRS BLD Aupaba, respectivamente, apresentaram diferença significativa entre os tratamentos com AIB, com maior enraizamento na concentração de 3000 mg L<sup>-1</sup>.

A necessidade da aplicação de AIB se mostrou dependente do genótipo e da época de coleta das miniestacas. Para o genótipo EC21 recomenda-se a utilização de AIB apenas no outono, proporcionando incremento de 57% no índice de enraizamento, enquanto não há necessidade de AIB nas demais épocas. Por outro lado, a utilização de AIB para o genótipo EC31 durante o verão e outono, e para EC21 e EC28 no verão, além de não promover a indução radicial, ocasionou maior mortalidade das miniestacas. O AIB tem sido o regulador vegetal mais utilizado para propagação vegetativa de espécies florestais devido à sua alta estabilidade e baixa toxidez; no entanto, estudos demonstram que as plantas respondem progressivamente à auxina até um nível ótimo, após o qual a concentração deste regulador se torna inibitória ao enraizamento (Pop et al., 2011; Sauer et al., 2013).

Assim, a maioria dos genótipos utilizados neste estudo não apresentou respostas no enraizamento com a utilização de AIB nas estações do verão, inverno e primavera, o que justifica o fato de alguns autores dispensarem a utilização da aplicação deste regulador vegetal em miniestacas de erva-mate (Pimentel et al., 2019; Duarte et al., 2019b). Por outro lado, Sá et al. (2018) relataram que a aplicação de 8000 mg L<sup>-1</sup> em miniestacas de erva-mate foi a melhor concentração para o enraizamento adventício, aumentando de 38,6% no tratamento controle para 54,0% na maior concentração de AIB, sem considerar o efeito do genótipo. Características particulares de cada genótipo, a nível fisiológico e molecular, podem proporcionar diferentes respostas rizogênicas (Hartmann et al., 2011). Dessa forma, recomendamos que para genótipos com menores taxas de enraizamento, como o EC26, concentrações maiores de AIB sejam testadas.

Com relação às épocas de coleta, sabe-se que esse é um fator com importante influência no enraizamento, havendo diferença genética intraespecífica (Nascimento et al., 2018). Neste estudo, observamos que a melhor época de enraizamento foi a primavera, ainda que alguns genótipos tenham apresentado resultados similares ou superiores em outras épocas. Possivelmente devido à maior atividade fisiológica das minicepas nessa época e aos níveis adequados de carboidratos e amido nas miniestacas, positivamente relacionados ao enraizamento (Aslmoshtaghi & Shahsavari, 2010). Sá et al. (2018) também obtiveram melhores resultados na primavera, enquanto outono e verão resultaram em menor porcentagem de enraizamento das miniestacas. Entretanto, o presente estudo demonstra que é viável a produção de mudas clonais de erva-mate durante todo o ano, mesmo que em menores quantidades devido à menor produtividade e enraizamento de miniestacas, como no outono e inverno. O período de expedição destas mudas pode ser alterado de acordo, por exemplo, com diferentes manejos nutricionais na fase de crescimento e rustificação em viveiro.

O número médio de raízes variou de 0 a 10,2 raízes por miniestaca, nos genótipos EC26 e EC48, respectivamente, ambos no inverno (Tabela 2). Entre as estações, a primavera apresentou o maior número de raízes por miniestaca ou não diferiu do maior, com exceção do EC48. Enquanto na coleta realizada no outono os genótipos apresentaram menor número de raízes, de forma geral. Houve resposta positiva do AIB para alguns genótipos, proporcionando maior número de raízes miniestaca<sup>-1</sup>. Este resultado sugere que alguns genótipos podem se beneficiar da aplicação de AIB para o ajuste hormonal, possibilitando a formação de raízes em detrimento da calogênese.

Para retenção foliar, as porcentagens variaram de 2,5% a 100% onde, entre as menores porcentagens, destaca-se o genótipo EC26, que apresentou os menores valores em todas as estações (2,5 a 52,5%). Em contrapartida, EC24 ficou entre os genótipos com maior porcentagem de retenção foliar, independente da estação do ano (87,5 a 100%) (Tabela 3). Observou-se uma relação direta entre a variável retenção foliar e o enraizamento de alguns genótipos, de modo que as maiores porcentagens podem estar associadas com a manutenção foliar durante o período de enraizamento. Embora a retenção foliar não seja um parâmetro condicional ao sucesso do processo de propagação vegetativa, trata-se de uma importante fonte de energia e síntese de substâncias relacionadas à indução radicial (Hartmann et al., 2011). A manutenção de folhas é uma importante fonte de energia e síntese de substâncias relacionadas à rizogênese (Xavier et al., 2013).

**Tabela 2.** Número médio de raízes em miniestacas de 15 genótipos de *Ilex paraguariensis*, tratadas ou não com ácido indolbutírico (0 e 3000 mg L<sup>-1</sup>).

Genótipo	AIB		Época do ano			
	0	3000	Verão	Outono	Inverno	Primavera
EC20	3,2 cB	5,8 bA	6,1 aA	3,5 bB	2,7 dB	5,6 cA
EC21	6,3 aB	8,1 aA	7,3 aB	4,6 aC	7,2 bB	9,6 aA
EC24	4,3 bB	7,0 aA	5,5 aB	5,2 aB	4,0 cB	8,0 bA
EC26	0,7 dA	1,2 dA	2,3 cA	1,0 cA	0,0 eA	0,5 eA
EC27	2,8 cA	2,8 cA	2,5 cA	2,1 cA	2,7 dA	4,0 dA
EC28	1,9 dA	2,8 cA	2,5 cA	1,3 cA	2,6 dA	3,1 dA
EC31	1,2 dB	4,3 cA	0,3 dB	3,0 bA	4,3 cA	3,3 dA
EC38	2,6 cA	3,4 cA	3,9 bA	1,0 cB	2,8 dA	4,5 dA
EC44	1,8 dA	2,2 dA	0,8 dB	0,4 cB	2,7 dA	4,2 dA
EC45	3,2 cB	5,1 bA	5,8 aA	2,3 cB	2,2 dB	6,4 bA
EC48	6,1 aA	7,4 aA	5,7 aC	3,2 bD	10,2 aA	7,9 bB
EC50	1,7 dA	2,0 dA	1,0 dB	0,3 cB	1,1 eB	5,1 cA
EC53	2,5 cB	5,3 bA	0,8 dB	2,0 cB	3,1 dB	9,8 aA
EC54	4,3 bA	5,4 bA	4,4 bA	4,6 aA	5,0 cA	5,5 cA
BRS*	3,7 bB	4,2 bA	4,6 bA	5,1 aA	4,4 cA	3,6 dA

Médias seguidas de uma mesma letra minúscula entre os genótipos de cada tratamento com AIB ou dentro de cada estação do ano, e maiúsculas entre as concentrações de AIB ou estação do ano em cada genótipo, não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. BRS\*= BRS BLD Aupaba.

**Tabela 3.** Porcentagem de retenção foliar e de mortalidade de 15 genótipos de *Ilex paraguariensis*, tratadas ou não com ácido indolbutírico (0 e 3000 mg L<sup>-1</sup>), nas diferentes estações do ano. Gen.: genótipos.

Gen.	Época do ano							
	Verão		Outono		Inverno		Primavera	
	AIB 0	AIB 3000	AIB 0	AIB 3000	AIB 0	AIB 3000	AIB 0	AIB 3000
	<b>Retenção foliar (%)</b>							
EC20	95,0 a aA	82,5 a bA	75,0 b aB	82,5 a aA	92,5 a aA	92,5 a aA	72,5 a aB	52,5 b bC
EC21	75,0 a bA	75,0 a bA	52,5 a bB	62,5 a bB	70,0 a bA	57,5 a bB	87,5 a aA	87,5 a aA
EC24	95,0 a aA	100,0 a aA	95,0 a aA	97,5 a aA	95,0 a aA	87,5 a aA	80,0 a aA	90,0 a aA
EC26	52,5 a cA	50,0 a cA	17,5 a cB	20,0 a dB	5,0 a cB	2,5 a cB	20,0 a cB	7,5 a dB
EC27	95,0 a aA	75,0 b bA	65,0 a bB	52,5 a cB	80,0 a bA	80,0 a aA	67,5 a aB	50,0 a bB
EC28	72,5 a bA	40,0 b cB	50,0 b bB	70,0 a bA	72,5 a bA	62,5 a bA	55,0 a bB	57,5 a bB
EC31	50,0 a cA	30,0 b cB	20,0 a cC	12,5 a dC	62,5 a bA	62,5 a bA	40,0 a cB	32,5 a cB
EC38	60,0 b cA	82,5 a bA	57,5 a bA	37,5 b cB	72,5 a bA	42,5 b bB	70,0 a aA	70,0 a aA
EC44	97,5 a aA	100,0 a aA	65,0 a bB	37,5 b cC	87,5 a aA	90,0 a aA	90,0 a aA	92,5 a aA
EC45	95,0 a aA	97,5 a aA	85,0 a aA	77,5 a bA	85,0 a aA	77,5 a aA	75,0 a aA	82,5 a aA
EC48	90,0 a aA	85,0 a bA	67,5 a bB	55,0 a cB	67,5 a bB	55,0 a bB	65,0 a aB	57,5 a bB
EC50	97,5 a aA	100,0 a aA	65,0 a bC	45,0 b cD	97,5 a aA	90,0 a aA	77,5 a aB	80,0 a aB
EC53	90,0 a aA	75,0 a bA	67,5 a bA	70,0 a bA	85,0 a aA	85,0 a aA	35,0 a cB	27,5 a cB
EC54	100,0 a aA	97,5 a aA	90,0 a aA	85,0 a aA	92,5 a aA	92,5 a aA	85,0 a aA	55,0 b bB
BRS*	92,5 a aA	95,0 a aA	82,5 a aB	72,5 a bB	95,0 a aA	72,5 a aA	67,5 a aB	77,5 a aB
	<b>Mortalidade (%)</b>							
EC20	5,0 a bB	12,5 a bB	25,0 a cA	10,0 a cB	5,0 a cB	2,5 a cB	12,5 b cB	30,0 a bA
EC21	2,5 b bB	20,0 a bA	30,0 a bA	40,0 a bA	27,5 a bA	35,0 a bA	5,0 a cB	10,0 a cB
EC24	0,0 a bA	0,0 a bA	0,0 a dA	0,0 a cA	2,5 b cA	10,0 a cA	5,0 a cA	5,0 a cA
EC26	40,0 a aB	42,5 a aB	62,5 a aA	42,5 b aB	62,5 a aA	57,5 a aA	57,5 a aA	57,5 a aA
EC27	0,0 a bB	7,5 a bB	15,0 a cB	10,0 a cB	15,0 a bB	15,0 a cB	15,0 b bB	32,5 a bA
EC28	15,0 b bB	47,5 a aA	20,0 a cB	15,0 a cB	25,0 a bB	27,5 a bB	27,5 a bB	30,0 a bB
EC31	12,5 b bC	32,5 a aC	45,0 b bB	65,0 a aA	15,0 a bC	22,5 a cC	47,5 a aB	62,5 a aA
EC38	10,0 a bB	12,5 a bB	35,0 a bA	32,5 a bA	15,0 b bB	45,0 a aA	22,5 a bB	10,0 a cB
EC44	0,0 a bC	2,5 a bC	32,5 b bB	55,0 a aA	10,0 a cC	10,0 a cC	5,0 a cC	2,5 a cC
EC45	0,0 a bA	2,5 a bA	7,5 a dA	12,5 a cA	15,0 a bA	12,5 a cA	22,5 a bA	7,5 a cA
EC48	5,0 a bB	10,0 a bB	12,5 a cB	27,5 a bA	20,0 a bA	35,0 a bA	25,0 a bA	25,0 a cA
EC50	2,5 a bC	0,0 a bC	35,0 a bA	47,5 a aA	0,0 a cC	7,5 a cC	20,0 a bB	17,5 a cB
EC53	7,5 a bB	12,5 a bB	22,5 a cB	22,5 a bB	7,5 a cB	7,5 a cB	37,5 a aA	50,0 a aA
EC54	0,0 a bA	2,5 a bA	5,0 a dA	10,0 a cA	7,5 a cA	7,5 a cA	7,5 a cA	7,5 a cA
BRS*	7,5 a bB	5,0 a bB	15,0 a cA	27,5 a bA	5,0 a cB	2,5 a cB	17,5 a bA	2,5 a cB

Médias seguidas de uma mesma letra em negrito entre as concentrações de AIB para cada genótipo dentro de uma mesma estação, minúscula entre os genótipos em cada tratamento com AIB dentro de cada estação e maiúsculas entre os mesmos genótipos nas diferentes estações em cada tratamento com AIB não diferem significativamente entre si pelo teste de Scott-Knott ao nível de 5% de probabilidade. BRS\*= BRS BLD Aupaba.

Os índices de mortalidade das miniestacas variaram de 0% a 65%. O genótipo EC24 apresentou 0% de mortalidade nas estações do verão e outono. Por outro lado, em todas as estações, o EC26 sempre se manteve entre os genótipos com maior porcentagem de mortalidade (40 a 62,5%) (Tabela 3). O baixo índice de enraizamento e a alta mortalidade observados em alguns genótipos, como EC26 e EC31, deixam clara a necessidade de aprimorar os protocolos de propagação para alguns genótipos. Pode-se, por exemplo, ajustar a nutrição das minicepas, estabelecer a melhor época para coleta de propágulos, determinar a necessidade e concentração de reguladores vegetais, bem como alterar as condições no ambiente de enraizamento, para maximizar a produção de mudas clonais de erva-mate.

## CONCLUSÃO

A maior produtividade de miniestacas foi observada nas coletas de verão e primavera, sendo o genótipo EC21 o mais produtivo. A necessidade de aplicação de ácido indolbutírico é dependente do genótipo e da estação do ano de coleta dos propágulos; recomendamos a aplicação do regulador vegetal no outono para a maioria dos genótipos. De forma geral, a primavera proporcionou os maiores índices de enraizamento, e entre os genótipos destacamos o EC24 com enraizamento superior a 60% em todas as estações.

## REFERÊNCIAS

- Aslmoshtaghi, E., & Shahsavari, A. R. (2010). Endogenous soluble sugars, starch contents and phenolic compounds in easy-and difficult-to-root olive cuttings. *Journal of Biological and Environmental Sciences*, 4(11), 83-86.
- Bracesco, N., Sanchez, A. G., Contreras, V., Menini, T., & Gugliucci, A. (2011). Recent advances on *Ilex paraguariensis* research: minireview. *Journal of Ethnopharmacology*, 136(3), 378-384. PMID:20599603. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jep.2010.06.032>.
- Brondani, G. E., Wendling, I., Grossi, F., Dutra, L. F., & Araujo, M. A. (2010). Miniestaquia de *Eucalyptus benthamii* × *Eucalyptus dunnii* (II) sobrevivência e enraizamento de miniestacas em função das coletas e estações do ano. *Ciência Florestal*, 20(3), 453-465. <http://dx.doi.org/10.5902/198050982060>.
- Dartora, N., de Souza, L. M., Paiva, S. M., Scoparo, C. T., Iacomini, M., Gorin, P. A., Rattmann, Y. D., & Sasaki, G. L. (2013). Rhamnogalacturonan from *Ilex paraguariensis*: a potential adjuvant in sepsis treatment. *Carbohydrate Polymers*, 92(2), 1776-1782. PMID:23399219. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.11.013>.
- Duarte, M. M., Gabira, M. M., Tomasi, J. C., Vieira, L. M., Aguiar, N. S., Maggioni, R. A., Amano, E., Lazzarotto, M., Nogueira, A. C., & Wendling, I. (2020). Adubação nitrogenada na miniestaquia de erva-mate. *Advances in Forestry Science*, 7(2), 981-988. <http://dx.doi.org/10.34062/afs.v7i2.9716>.
- Duarte, M. M., Martin, D. M., Moraes, R. F., & Zuffellato-Ribas, K. C. (2019b). Efeito de *Azospirillum brasilense* e ácido indolbutírico no enraizamento de miniestacas de *Tibouchina affinis fothergillae*. *Revista Eletrônica Científica da UERGS*, 5(3), 289-295. <http://dx.doi.org/10.21674/2448-0479.53.289-295>.
- Duarte, M. M., Mireski, M. C., Oliszeski, A., Wendling, I., & Stuepp, C. A. (2019a). Rooting of yerba mate cuttings with different lengths. *Revista Eletrônica Científica da UERGS*, 5(1), 6-12. <http://dx.doi.org/10.21674/2448-0479.51.6-12>.
- Hartmann, H. T., Kester, D. E., Davies, F. T., & Geneve, R. L. (2011). *Plant propagation: principles and practices* (8th ed., 915 p.). USA: Prentice-Hall.
- Heck, C. I., & De Mejia, E. G. (2007). Yerba Mate Tea (*Ilex paraguariensis*): a comprehensive review on chemistry, health implications, and technological considerations. *Journal of Food Science*, 72(9), R138-R151. PMID:18034743. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2007.00535.x>.
- Kratz, D., Wendling, I., Pires, P. P., & Stuepp, C. A. (2015). Produção de mudas de erva-mate por miniestaquia em substratos renováveis. *Floresta*, 45(3), 609-616. <http://dx.doi.org/10.5380/rev.v45i3.36531>.
- Nascimento, B., Sá, A. C. S., Lemos, L. B., Rosa, D. P., Pereira, M. O., & Navroski, M. C. (2018). Three epicormic shoot techniques in *I. paraguariensis* mother trees and its cutting according to the material rejuvenation degree. *Cerne*, 24(3), 240-248. <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201824032584>.
- Osterc, G., Petkovšek, M. M., & Stampar, F. (2016). Quantification of IAA metabolites in the early stages of adventitious rooting might be predictive for subsequent differences in rooting response. *Journal of Plant Growth Regulation*, 35(2), 534-542. <http://dx.doi.org/10.1007/s00344-015-9559-9>.



- Pimentel, N., Lencina, K. H., Kielse, P., Rodrigues, M. B., Somavilla, T. M., & Bisognin, D. A. (2019). Produtividade de minicepas e enraizamento de miniestacas de clones de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.). *Ciência Florestal*, 29(2), 559-570. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509827009>.
- 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), 487-492. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2011000400013>.
- Pop, T. I., Pamfil, D., & Bellini, C. (2011). Auxin control in the formation of adventitious roots. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 39(1), 307-316. <http://dx.doi.org/10.15835/nbha3916101>.
- Prado Martin, J. G., Porto, E., de Alencar, S. M., da Glória, E. M., Corrêa, C. B., & Ribeiro Cabral, I. S. (2013). Antimicrobial activity of yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) against food pathogens. *Revista Argentina de Microbiologia*, 45(2), 93-98. PMID:23876271. [http://dx.doi.org/10.1016/S0325-7541\(13\)70006-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0325-7541(13)70006-3).
- Sá, F. P. D., Portes, D. C., Wendling, I., & Zuffellato-Ribas, K. C. (2018). Miniestaquia de erva-mate em quatro épocas do ano. *Ciência Florestal*, 28(4), 1431-1442. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509835051>.
- Santin, D., Wendling, I., Benedetti, E. L., Morandi, D., & Domingos, D. M. (2015). Sobrevivência, crescimento e produtividade de plantas de erva-mate produzidas por miniestacas juvenis e por sementes. *Ciência Florestal*, 25(3), 571-579. <http://dx.doi.org/10.5902/1980509819608>.
- Sauer, M., Robert, S., & Kleine-Vehn, J. (2013). Auxin: simply complicated. *Journal of Experimental Botany*, 64(9), 2565-2577. PMID:23669571. <http://dx.doi.org/10.1093/jxb/ert139>.
- Stuepp, C. A., Bitencourt, J. D., Wendling, I., Koehler, H. S., & Zuffellato-Ribas, K. C. (2015). Propagação de erva-mate utilizando brotações de anelamento e decepa em matrizes de duas idades. *Cerne*, 21(4), 519-526. <http://dx.doi.org/10.1590/01047760201521041864>.
- 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. <https://doi.org/10.1590/1806-90882017000200004>.
- Tamura, A., Sasaki, M., Yamashita, H., Matsui-Yuasa, I., Saku, T., Hikima, T., Tabuchi, M., Munakata, H., & Kojima-Yuasa, A. (2013). Yerba-mate (*Ilex paraguariensis*) extract prevents ethanol-induced liver injury in rats. *Journal of Functional Foods*, 5(4), 1714-1723. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2013.07.017>.
- Wendling, I., & Dutra, L. F. (2008). *Solução nutritiva para condução de minicepas de erva-mate (Ilex paraguariensis St. Hil.) em sistema semi-hidropônico* (Circular Técnica, No. 157, 4 p.). Colombo: Embrapa Florestas.
- Wendling, I., & Santin, D. (2015). *Propagação e nutrição de erva-mate* (195 p.). Brasília: Embrapa.
- 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. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000200019>.
- Wendling, I., Santarosa, E., Penteado Junior, J., Auer, C. G., Penteado, S., De Queiroz, D. L., & Dos Santos, A. F. (2020). *Manual de produção de mudas clonais de erva-mate* (Embrapa Florestas. Documentos, No. 336, 47 p.). Colombo: Embrapa Florestas.
- Wendling, I., Sturion, J. A., Stuepp, C. A., Reis, C. A. F., Ramalho, M. A. P., & Resende, M. D. V. (2018). Early selection and classification of yerba mate progênies. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 53(3), 279-286. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-204x2018000300002>.
- Xavier, A., Wendling, I., & Silva, R. L. (2013). *Silvicultura clonal: princípios e técnicas* (2. ed., 272 p.). Viçosa: UFV.

**Contribuição dos Autores:** LMV: Análise Formal, Investigação, Metodologia, Escrita – Primeira Redação; RAM: Investigação, Metodologia, Escrita – Revisão e Edição; MMD: Investigação, Visualização, Escrita – Revisão e Edição; NSA: Investigação, Metodologia, Escrita – Revisão e Edição; MMG: Investigação, Metodologia, Escrita – Revisão e Edição; JCT: Metodologia, Visualização, Escrita – Revisão e Edição; HSK: Análise Formal, Software, Validação; IW: Administração do Projeto, Investigação, Supervisão, Escrita – Revisão e Edição; KCZ: Administração do Projeto, Investigação, Validação, Supervisão, Escrita – Revisão e Edição.