



ISSN: 2525-815X

Journal of Environmental Analysis and Progress

Journal homepage: www.jeap.ufrpe.br/

10.24221/jeap.8.3.2023.5548.190-203



Uso de soprador contínuo com fluxo vertical de ar no beneficiamento de sementes de erva-mate

Use of continuous blower with vertical air stream in conditioning yerba mate seeds

Mara Cíntia Winhelmann^{a*}, Leo Jaime de Vargas^b, Júlio Antonioli^c, Rodrigo Sampaio^c, André Pich Brunes^c, Elisete Maria de Freitas^b, Claudimar Sidnei Fior^a

^a Universidade Federal do Rio Grande do Sul-UFRGS, Faculdade de Agronomia, Departamento de Horticultura e Silvicultura. Avenida Bento Gonçalves, n. 7712, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. CEP: 91540-000. E-mail: marawinhelmann@gmail.com*, csfior@ufrgs.br.

^b Universidade do Vale do Taquari-UNIVATES, Laboratório de Botânica. Rua Avelino Tallini, n. 171, Lajeado, Rio Grande do Sul, Brasil. CEP: 95900-000. E-mail: leo.vargas@universo.univates.br, elicauf@univates.br.

^c UFRGS, Faculdade de Agronomia, Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia. Avenida Bento Gonçalves, n. 7712, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. CEP: 91540-000. E-mail: jl.antonioli@hotmail.com, rodrigossampaio.rcs@gmail.com, andre.brunes@gmail.com.

ARTICLE INFO

Recebido 23 Fev 2023

Aceito 24 Mai 2023

Publicado 15 Ago 2023

ABSTRACT

Ilex paraguariensis is mainly propagated by seeds, but the lots have a high percentage of empty and deteriorated seeds, making it important to investigate processing practices to increase the purity and initial viability of the lot. The objective of this study was to evaluate the potential of using a continuous blower with vertical airflow in the processing of yerba mate seeds. Seeds from seven mother plants were exposed to a vertical air stream at openings 0; 3.5; 4.5; 5.5; 6.5 and 7.5 cm, resulting in light (fin) and heavy (base) fractions. The percentage of unhealthy seeds (empty + deteriorated), viable, non-viable, and a weight of a thousand seeds (WTS) retained in the base and blade of the blower were evaluated. The percentage of unhealthy seeds retained at the base of the blower reduced with the increase of the airflow opening, there was also a reduction in the fraction of viable seeds, and for the percentage of non-viable seeds, there was no difference. The WTS of all mother plants had a significant increase in the fraction contained in the base as the opening increased. It is concluded that the use of the blower increases the physical and physiological quality of yerba mate seeds by promoting the removal of non-integral seeds (empty + degraded). The opening of 5.5 and 6.5 cm, with an average terminal velocity of 100 km h⁻¹ are indicated for the cleaning of yerba mate seeds, considering the viability and the WTS obtained in this study.

Keywords: *Ilex paraguariensis*, De Leo® seed blower South Dakota model, tetrazolium test, seeds viability.

RESUMO

Ilex paraguariensis é propagada principalmente por sementes, porém os lotes apresentam alta porcentagem de sementes vazias e deterioradas, tornando-se importante investigar práticas de beneficiamento para aumentar a pureza e viabilidade inicial do lote. O objetivo do estudo foi avaliar o potencial do uso do soprador contínuo com fluxo de ar vertical no beneficiamento de sementes de erva-mate. Sementes de sete matrizes foram expostas a fluxos de ar vertical nas aberturas 0; 3,5; 4,5; 5,5; 6,5 e 7,5 cm, resultando em frações leves (aleta) e pesadas (base). Foram avaliados o percentual de sementes não íntegras (vazias + deterioradas), viáveis, não viáveis e peso de mil sementes (PMS) retidas na base e aleta do soprador. A porcentagem de sementes não íntegras retidas na base do soprador reduziu com o aumento da abertura do fluxo de ar, também houve redução da fração de sementes



viáveis e para a porcentagem de sementes não viáveis não houve diferença. O PMS de todas as matrizes apresentou aumento significativo na fração contida na base à medida que aumentou a abertura. Conclui-se que o uso do soprador aumenta a qualidade física e fisiológica das sementes de erva-mate ao promover a remoção de sementes não íntegras (vazias + degradadas). As aberturas de 5,5 e 6,5 cm, com velocidade terminal média de 100 km h⁻¹ são indicadas para o beneficiamento de sementes de erva-mate, considerando a viabilidade e o PMS obtidos neste estudo.

Palavras-Chave: *Ilex paraguariensis*, soprador de sementes De Leo® modelo South Dakota, teste de tetrazólio, viabilidade de sementes.

Introdução

Ilex paraguariensis A.St-Hil. (Aquifoliaceae) é uma espécie arbórea nativa no Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai, cujas folhas são utilizadas principalmente para o preparo do chimarrão e do tererê. Além disso, a espécie apresenta potencial para diferentes usos, como conservantes, suplementos alimentares, corantes, produtos de higiene, cosméticos, entre outros (Croge, Cuquel & Pintro, 2021).

A produção de mudas de erva-mate é realizada principalmente a partir de sementes (Wendling & Santin, 2015), contudo, essas apresentam baixa qualidade genética e fisiológica, taxa de germinação reduzida e desuniforme, além de dormência morfofisiológica (Wendling & Santin, 2015; Galíndez et al., 2018). A taxa de germinação é, em geral, inferior a 20%, sendo atribuída, principalmente, à dormência. Contudo, estudos recentes indicam que lotes de sementes de erva-mate apresentam alta porcentagem de sementes vazias, malformadas e deterioradas (Souza et al., 2020a), devido a ineficiência do processo de beneficiamento frequentemente adotado, tornando-se importante investigar práticas de beneficiamento que possam aumentar a pureza e a viabilidade inicial do lote.

O beneficiamento de sementes é um conjunto de técnicas e operações que visam retirar impurezas, como material inerte, sementes danificadas, vazias, deterioradas e de outras espécies, deixando o lote mais puro para a semeadura, armazenamento ou comercialização (Peske, Villela & Meneghello, 2019). Pelo fato de a maioria das impurezas apresentar velocidade terminal maior do que as sementes, torna-se possível remover o material mais leve do lote com uso de um fluxo de ar vertical (Garay, Elias & Meyer, 2009), desde que as dimensões sejam semelhantes. Esta operação pode ser realizada com soprador que opera com diferentes configurações de abertura para passagem do fluxo de ar, dividindo a amostra original em uma fração leve e outra pesada, sem afetar a integridade das sementes (Faria et al., 2019).

A escolha da velocidade do ar a ser utilizada depende das características do lote de sementes, sendo variável entre plantas matrizes e

entre diferentes colheitas, pois fatores intrínsecos e extrínsecos ligados à formação da semente afetam o tamanho e o peso específico (Grzybowski et al., 2019). O fluxo de ar aumenta com a abertura do soprador (Faria et al., 2019) e, conseqüentemente, é alterada a capacidade do fluxo de ar em deslocar sementes de diferentes massas, separando as frações leve e pesada em locais distintos, identificados, respectivamente, como aleta e base do soprador.

Culturas tradicionais, sejam elas arbóreas ou não, em função de seleção e melhoramento, apresentam sementes com características biométricas muito semelhantes, mesmo entre matrizes distintas, mas não é o caso da erva-mate. Em função disso, há necessidade de uma série de testes e adaptações, testando-se diferentes matrizes para atingir uma regulagem do fluxo de ar vertical, de maneira a tornar possível o seu uso para a cultura. O estudo de lotes de sementes oriundos de diferentes ecótipos auxilia no estabelecimento das aberturas de ar adequadas ao beneficiamento, sem que haja o descarte demorado de sementes viáveis e, assim chegar a uma recomendação de faixa de abertura que pode ser utilizada para diferentes lotes.

A hipótese deste estudo está baseada na teoria de que a massa das sementes vazias e deterioradas difere suficientemente das sementes viáveis, sendo possível remover sementes não íntegras utilizando um fluxo de ar vertical. Dessa forma, o objetivo do estudo foi avaliar o potencial do uso do soprador contínuo, com fluxo de ar vertical, no beneficiamento de sementes de erva-mate.

Material e Métodos

Em janeiro de 2020 foram selecionadas sete plantas matrizes de erva-mate (MA13, MA14, MA15, MA16, MA20, MA21, MA22), com idade média de 30 anos e distância mínima de 5 m e máxima de 200 m entre elas. Essas plantas pertencem ao Banco Ativo de Germoplasma (BAG) existente na Estação Florestal Experimental do Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Renováveis (Parque do Ibama), em Ilópolis – RS (28° 55' 57.688" S 52° 7' 54.026" W). Este BAG foi formado a partir de propágulos

coletados na maior parte da área de abrangência de distribuição da espécie no Brasil, nos estados do RS, SC, PR, e MS. Neste local, a proporção de plantas femininas e masculinas é de, aproximadamente, 1:1, perfazendo um total de 640 plantas em uma área de 2,0 ha. O solo é classificado como Nitossolo háplico, com as seguintes características: pH 4,5, 34% de argila, 3% de matéria orgânica, 2,7 mg dm⁻³ de fósforo e 118 mg dm⁻³ de potássio.

Devido à diversidade genética existente no BAG e à variabilidade na maturação dos frutos da espécie, a coleta de sementes foi realizada no decorrer dos meses de fevereiro e março de 2020. Foram coletados frutos maduros dispersos naturalmente (abscisados) sobre telas de polietileno, afastadas 30 cm do solo, dispostas sob a projeção da copa de cada árvore. Os frutos foram levados ao laboratório onde foram isolados de resíduos vegetativos, e em seguida macerados sobre peneira sob água corrente (Figura 1).

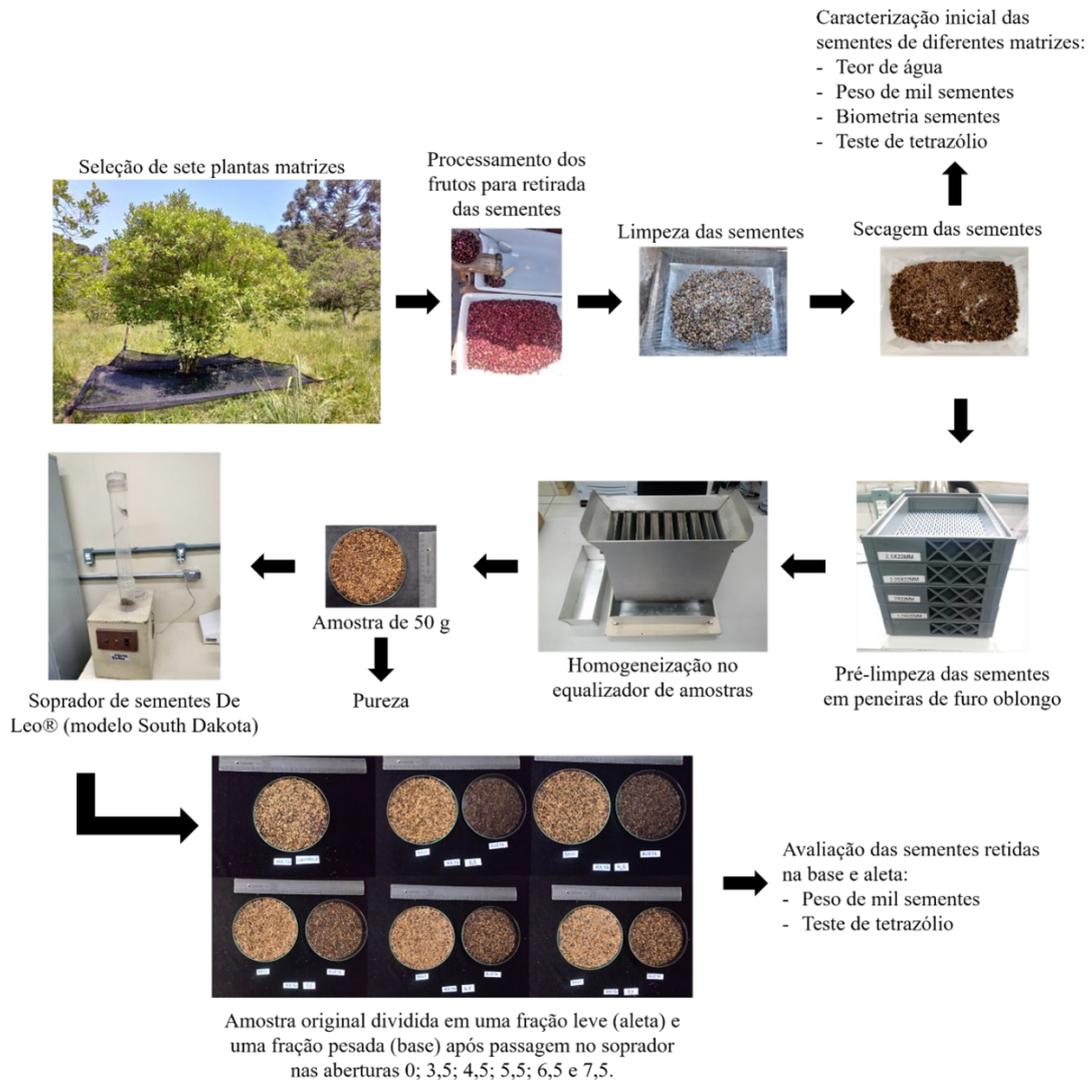


Figura 1. Fluxograma de coleta, processamento e análise de sementes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St-Hil), Rio Grande do Sul, Brasil. Fonte: Winhelmann et al. (2021).

As sementes de cada matriz permaneceram secando sobre papel toalha por três dias em bancada de laboratório. Na sequência, foi analisado o teor de água (TA), determinado pelo método da diferença percentual de massa após secagem em estufa a 105°C ± 5°C, por 24 horas (Brasil, 2009). Para cada planta matriz foram utilizadas três amostras de 0,5 g.

Em seguida foi realizada a caracterização biométrica das sementes de cada matriz. Com

auxílio de paquímetro digital (0,01 mm), as sementes foram medidas no sentido longitudinal (ML) e transversal (MT) (mm), sendo utilizadas quatro repetições de 25 sementes, retiradas ao acaso, por planta matriz.

Após três meses de armazenamento em refrigerador, em frascos de vidro com tampa metálica, sob temperatura constante de 5°C ± 2°C, foi efetuada a pré-limpeza das sementes utilizando um jogo de peneiras de furos oblongos (Figura 1).

O material retido nas peneiras com abertura de malha de 2,5 e 2,25 mm foi descartado, sendo composto por impurezas como fragmentos de ramos, folhas e frutos mumificados. O material retido na peneira com abertura de malha igual ou inferior a 2,0 mm foi homogeneizado no equalizador de amostras (Figura 1). Em seguida, essas amostras foram pesadas em balança analítica (0,001 g) e separadas em sete amostras de 50 g para cada matriz. Nesse momento foi determinada a pureza (%) de cada matriz, a partir da pesagem dos diásporos e do material inerte, este último composto por restos de frutos (pedúnculos e pericarpos), pedaços de folhas e ramos com tamanho inferior às malhas de peneiras utilizadas na pré-limpeza.

Posteriormente procedeu-se a limpeza das sementes usando um soprador de sementes De Leo® (modelo South Dakota) (Figura 1). Este equipamento regula a velocidade do fluxo de ar, dividindo a amostra original em uma fração leve (aleta) e uma fração pesada (base). Uma válvula metálica numerada de 0 a 25 ajusta a velocidade do fluxo de ar, que aumenta com o número do ajuste. O equipamento é ajustado manualmente, quanto maior a abertura, maior a velocidade do fluxo de ar no equipamento. A partir de testes preliminares, o soprador foi ajustado com as aberturas de 3,5; 4,5; 5,5; 6,5 e 7,5 cm e no tempo de ventilação de 60 segundos para cada abertura. A velocidade do ar foi monitorada por meio de um anemômetro digital LT Lutron LM-8000A Akso® acoplado na parte superior do tubo do soprador (Tabela 1).

Tabela 1. Velocidade, percentagem de sementes retidas na base e aleta, de impurezas retidas na base e aleta, de sementes não íntegras, viáveis e não viáveis na base e aleta nas diferentes aberturas e matrizes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St-Hil), Rio Grande do Sul, Brasil. Fonte: Winhelmann et al. (2021).

Matriz	Abertura (cm)	Velocidade (km h ⁻¹)	Sementes	Impurezas	Sementes	Impurezas
			Base	Base	Aleta	Aleta
			(%)			
MA13	0	0	90,9	9,1	0	0
MA13	3,5	86,9	90,9	4,2	0,0	4,9
MA13	4,5	95,8	85,4	2,2	5,5	6,9
MA13	5,5	96,6	72,4	0,0	18,5	9,1
MA13	6,5	103,0	44,8	0,0	46,1	9,1
MA13	7,5	68,7	60,3	0,0	30,6	9,1
MA14	0	0	86	14	0	0
MA14	3,5	85,3	86,0	1,5	0,0	12,5
MA14	4,5	97,8	86,0	1,4	0,0	12,6
MA14	5,5	101,5	83,2	0,0	2,8	14,0
MA14	6,5	104,9	63,4	0,0	22,6	14,0
MA14	7,5	101,7	43,1	0,0	42,9	14,0
MA15	0	0	85,8	14,2	0	0
MA15	3,5	82,7	85,8	1,5	0,0	12,7
MA15	4,5	99,3	73,5	0,2	12,3	14,0
MA15	5,5	102,8	65,1	0,2	20,7	14,0
MA15	6,5	80,5	63,7	0,0	22,1	14,2
MA15	7,5	71,3	50,1	0,0	35,7	14,2
MA16	0	0	85,1	14,9	0	0
MA16	3,5	91,7	85,1	4,5	0,0	10,4
MA16	4,5	90,9	85,1	4,3	0,0	10,6
MA16	5,5	98,7	74,6	0,0	10,5	14,9
MA16	6,5	102,2	52,2	0,0	32,9	14,9
MA16	7,5	86,7	36,7	0,0	48,4	14,9
MA20	0	0	84,1	15,9	0	0
MA20	3,5	90,4	84,1	1,5	0,0	14,4
MA20	4,5	98,2	84,1	0,9	0,0	15,0
MA20	5,5	102,2	69,9	0,0	14,2	15,9
MA20	6,5	99,0	50,7	0,0	33,4	15,9
MA20	7,5	103,0	36,5	0,0	47,6	15,9
MA21	0	0	86	14	0	0
MA21	3,5	90,0	86,0	0,4	0,0	13,6
MA21	4,5	100,6	86,0	0,7	0,0	13,3

MA21	5,5	102,5	73,1	0,0	12,9	14,0
MA21	6,5	106,5	72,1	0,0	13,9	14,0
MA21	7,5	105,9	47,3	0,0	38,7	14,0
MA22	0	0	86,3	13,7	0	0
MA22	3,5	91,7	86,3	3,5	0,0	10,2
MA22	4,5	99,1	76,3	3,1	10,0	10,6
MA22	5,5	99,5	74,5	0,0	11,8	13,7
MA22	6,5	109,4	47,8	0,0	38,5	13,7
MA22	7,5	104,6	24,5	0,0	61,8	13,7

Cada abertura testada correspondeu a um tratamento de 50 gramas de sementes para cada matriz. A massa das duas frações de cada abertura (aleta e base) foi determinada em balança analítica (0,001g), convertendo os resultados em porcentagem da massa original (Tabela 1). Também foi adicionado a estas aberturas um tratamento controle, sem o uso do equipamento e, portanto, sem a limpeza de sementes e denominado de abertura zero.

Posteriormente, para cada abertura (0; 3,5; 4,5; 5,5; 6,5 e 7,5) e fração (aleta e base) de cada matriz, foram realizadas as seguintes análises:

- Avaliação da integridade das sementes de erva-mate (quatro repetições de 25 sementes). Inicialmente, as sementes foram imersas em água ultrapurificada a 30°C por 24 horas para facilitar o corte (Catapan, 1998). Em seguida, foi realizado o corte longitudinal com o auxílio de pinça e bisturi. Para a análise morfológica das sementes foi utilizado um microscópio estereoscópico Leica EZ4 HD, com ampliação de até 35 vezes. Nessa avaliação, as sementes foram classificadas em não íntegras, compostas por sementes vazias (ausência de embrião e de endosperma ou por conter menos de 50% dos tecidos) e deterioradas (endosperma e embrião necrosados ou com tecido gelatinoso). As demais foram classificadas como íntegras e utilizadas na avaliação descrita a seguir.

- Viabilidade pelo teste de tetrazólio: as sementes íntegras foram imersas em solução de 0,1% de 2,3,5 trifênil cloreto de tetrazólio por 24 horas a 35°C (Catapan, 1998). Após esse período, procedeu-se a observação sob microscópio estereoscópico Leica EZ4 HD, com ampliação de até 35 vezes e foram consideradas viáveis as sementes que apresentaram endosperma corado com embrião visível, sem danos e com consistência firme. As sementes que não apresentaram estas características foram classificadas como não viáveis (Brasil, 2009). O delineamento foi inteiramente casualizado com quatro repetições de 25 sementes para cada matriz. O cálculo de porcentagem de sementes não íntegras, viáveis e não viáveis foi ajustado com base na porcentagem da massa de sementes de cada fração (aleta e base)

considerando a pureza e o PMS de cada matriz antes do beneficiamento.

- Peso de mil sementes (PMS): conforme metodologia descrita nas Regras de Análises de Sementes (RAS) (Brasil, 2009), foram pesadas em balança analítica (0,0001g), três repetições de oito amostras de 100 sementes, utilizando a fórmula abaixo.

$$\text{Peso de mil sementes (PMS)}(g) = \frac{\text{peso da amostra (g)} \times 1000}{n^{\circ} \text{ total de sementes}}$$

O valor final do PMS (g) foi corrigido considerando o teor de água médio (9,5%) das sementes para todas as amostras.

Os dados de teor de água, biometria, PMS, pureza, porcentagem de sementes não íntegras, viáveis e não viáveis pelo teste de tetrazólio antes do beneficiamento foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de LSD-Fisher a 5% de probabilidade de erro pelo *software* CoStat 6.45 em delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial simples. Os dados de porcentagem de sementes não íntegras, viáveis, não viáveis e PMS para as diferentes matrizes e aberturas foram submetidos à análise de variância (ANOVA) pelo *software* Costat 6.45 e regressão exponencial pelo SigmaPlot 11.0 em delineamento inteiramente casualizado em esquema bifatorial (matriz x abertura do soprador). Os dados de porcentagem de não viáveis na aleta não atenderam aos pressupostos da ANOVA, sendo transformados para $\sqrt{(x+100)}$, porém estão apresentados em seus valores originais.

Resultados e Discussão

Anteriormente ao beneficiamento, as sementes das matrizes apresentam diferença no teor de água (TA), com variação de 8,8% a 10,6% e TA médio de 9,5% (Tabela 2), coincidindo com os valores observados para a espécie (Mireski et al., 2019; Souza et al., 2020b). A matriz MA20 apresentou o maior PMS (8,8 g) e a matriz MA13, o menor (5,3 g), as demais apresentaram valores intermediários (Tabela 2).

Tabela 2. Teor de água (TA) (%), peso de mil sementes (PMS) (g), medida longitudinal (ML) (mm) e medida transversal (MT) (mm) e pureza (%) antes do beneficiamento de sementes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A.St.-Hil.), oriundas de diferentes plantas matrizes, Rio Grande do Sul, Brasil. Fonte: Winhelmann et al. (2021).

Matriz	Data coleta	TA	PMS*	ML	MT	Pureza (%)	
		(%)	(g)	(mm)		Diásporos (%)	Impurezas (%)
MA13	08/02/2020	9,5 cd	5,3 f	3,17 d	1,70 d	90,9 ns	9,1 ns
MA14	09/03/2020	9,7 bc	7,9 b	3,91 a	1,89 b	86,0	14,0
MA15	09/03/2020	8,9 de	7,0 d	3,78 b	1,75 d	85,8	14,2
MA16	09/03/2020	10,3 ab	6,1 e	3,67 c	1,74 d	85,1	14,9
MA20	24/02/2020	8,8 e	8,8 a	3,91 a	1,91 b	84,1	15,9
MA21	24/02/2020	10,6 a	7,1 cd	3,63 c	2,02 a	86,0	14,0
MA22	24/02/2020	8,9 de	7,5 bc	3,98 a	1,82 c	86,3	13,7
Média		9,5	7,1	3,7	1,8	86,3	13,7
p valor		<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0886	0,0886
CV (%)		4,0	3,8	1,3	2,1	2,85	17,7

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste LSD-Fisher a 5% de probabilidade de erro; ns = não significativo; CV = coeficiente de variação. *PMS considerando o TA médio de 9,5%.

Quanto à biometria, não houve diferença significativa na medida longitudinal (ML) das sementes das matrizes MA14, MA20 e MA22 que apresentaram os maiores valores, e a matriz MA 13 apresentou o menor valor (3,17 mm). Na análise da medida transversal (MT) a matriz MA13 apresentou o menor valor (1,70 mm) não diferindo significativamente das matrizes MA15 e MA 16. Por outro lado, MA21 apresentou a maior medida (2,02 mm). Os valores observados na Tabela 2 evidenciam a diversidade fenotípica da espécie.

Para a avaliação da pureza, as matrizes não diferiram estatisticamente, apresentando 86,3% de diásporos e 13,7% de impurezas como médias gerais (Tabela 2). As variáveis analisadas na tabela 2 foram realizadas para caracterizar os diásporos de cada matriz e se enquadram como testes de qualidade física, sendo que estas variáveis

influenciam a separação das sementes por fluxo de ar.

Na avaliação da integridade das sementes foram utilizadas três variáveis para caracterizar as matrizes: sementes não íntegras, viáveis e não viáveis (Tabela 3). Ainda antes do beneficiamento, observou-se que as matrizes diferiram entre si com relação à quantidade de sementes não íntegras (vazias + deterioradas). As matrizes MA14, MA16, MA21 e MA22 apresentaram a maior porcentagem de sementes não íntegras, com média de 45%. Estas foram seguidas pelas matrizes MA15 e MA20, com 38%, e pela matriz MA13 com o menor valor (28%). Esta mesma matriz (MA13) apresentou a maior porcentagem de sementes viáveis (45%). As demais apresentaram valores entre 30 e 38%. A porcentagem de sementes não viáveis foi em média de 22,8% e variação de 17 a 32% (Tabela 3).

Tabela 3. Avaliação da integridade de sementes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.): não íntegras (%) e viabilidade pelo teste de tetrazólio - viáveis (%) e não viáveis (%) oriundas de diferentes plantas matrizes, Rio Grande do Sul, Brasil. Fonte: Winhelmann et al. (2021)

Matriz	% Não íntegras	% Viáveis	% Não viáveis
Matriz 13	28 c	45 a	27 ab
Matriz 14	45 a	34 bc	21 bcd
Matriz 15	38 b	30 c	32 a
Matriz 16	44 a	35 bc	21 bcd
Matriz 20	38 b	38 b	24 bc
Matriz 21	46 a	36 b	18 cd
Matriz 22	45 a	38 b	17 d
Média	40,6	36,6	22,8
p valor	<0,001	<0,001	0,001
CV (%)	7,6	9,4	19,5

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste LSD-Fisher a 5% de probabilidade de erro; CV = coeficiente de variação.

A integridade das sementes afeta diretamente a taxa de germinação, ou seja, quanto menor a porcentagem de sementes viáveis, menor é a porcentagem de germinação. A variabilidade observada nos diásporos das diferentes matrizes pode ser atribuída a fatores genéticos, inerentes a cada planta (Ferreira & Borghetti, 2004). Neste caso, com menor influência dos fatores ambientais,

pois as árvores estão localizadas em um mesmo ambiente e assim, expostas ao mesmo microclima.

Após passagem das sementes pelo soprador, foi verificada interação entre matriz e abertura do soprador para a maioria das variáveis analisadas, com exceção da porcentagem de sementes viáveis e não viáveis na base. Esta última variável só apresentou significância para matriz (Tabela 4).

Tabela 4. Análise de variância de sementes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) de diferentes plantas matrizes e aberturas de soprador de ar vertical. Fonte: Winhelmann et al. (2021).

Variáveis analisadas	Matriz	Abertura soprador	Interação	CV	Média geral
	p valor			(%)	
% não íntegras Base	<0,001	<0,001	<0,001	13,2	23,3
% não íntegras Aleta	<0,001	<0,001	<0,001	16,5	17,3
% viáveis Base	<0,001	<0,001	0,0915	9,7	33,2
% viáveis Aleta	<0,001	<0,001	<0,001	28,4	3,4
% não viáveis Base	<0,001	0,0076	0,9999	19,8	21,3
% não viáveis Aleta*	<0,001	<0,001	<0,001	0,5	1,5
PMS Base (g)	<0,001	<0,001	<0,001	0,75	7,5
PMS Aleta (g)	<0,001	<0,001	<0,001	1,14	3,1

*transformado para $\sqrt{(x+100)}$; CV = coeficiente de variação; 5% de significância.

Em todas as matrizes, a porcentagem de sementes não íntegras na base do soprador (Figura 2A) reduziu com o aumento da abertura do fluxo de ar, e, conseqüentemente a quantidade deste tipo de semente na aleta aumentou (Figura 2B). À medida que aumentou a velocidade, ocorreu incremento na proporção de sementes vazias e deterioradas na fração leve, porém houve grande variação entre as matrizes pelo fato de as sementes apresentarem diferenças com relação ao tamanho (Tabela 2) e presença de sementes não íntegras (Tabela 2).

Diásporos vazios ou malformados são deslocados pela massa de ar mais facilmente quando expostos em uma coluna de ar vertical. Isso significa que o material indesejável pode ser removido usando uma velocidade de ar adequada (Garay, Elias & Meyer, 2009). Para as matrizes MA13, MA15 e MA20, a abertura 3,5 permitiu remover apenas impurezas na aleta não sendo constatada a presença de sementes. Resultado semelhante foi obtido nas aberturas 3,5 e 4,5 para as matrizes MA14, MA16, MA21 e MA22 (Tabela 1), demonstrando que essas aberturas são eficientes apenas na remoção de impurezas.

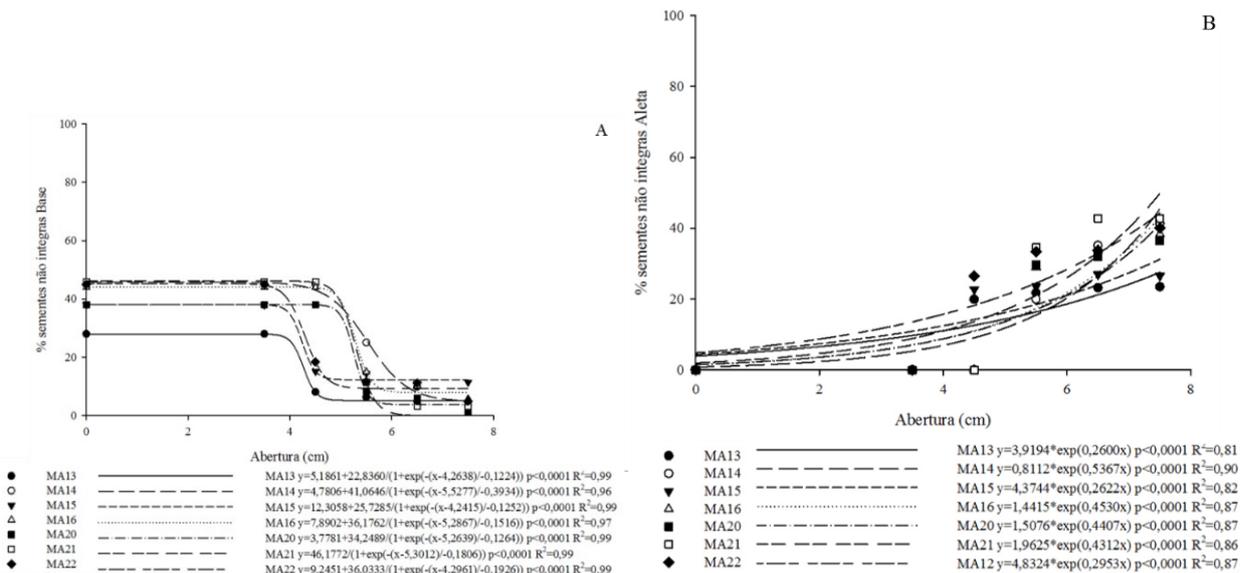


Figura 2. Porcentagem total de sementes não íntegras de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) retidas na base (A) e na aleta (B) para diferentes aberturas (cm) do soprador e plantas matrizes, Rio Grande do Sul, Brasil. Fonte: Winhelmann et al. (2021).

Este fato reduz a quantidade de material que é colocado para estratificar, visto que o beneficiamento inadequado das sementes (presença de restos de polpa e outras impurezas) favorece a proliferação de microrganismos que podem acelerar a degradação das sementes e reduzir o estabelecimento de plântulas no viveiro provocando doenças (Grigoletti Junior et al., 1999).

Embora os viveiristas realizem um pré-beneficiamento nas sementes de erva-mate, por meio do descarte do sobrenadante em água no momento da limpeza (Wendling & Santin, 2015), as informações sobre a padronização desse processo e a porcentagem de sementes viáveis descartadas, bem como o quanto de sementes não íntegras permanece no lote e são colocadas para estratificar não estão esclarecidas. Além disso, os viveiristas colocam as sementes para estratificar logo após a limpeza, quando ainda existem restos de polpa, pericarpo e pedúnculos que favorecem a incidência de patógenos, contribuindo para a inviabilização das sementes ou causando doenças nas plântulas (Souza et al., 2019). Isso é mais um fator que justifica o baixo percentual de germinação da espécie, conforme relatado na literatura (Wendling & Santin, 2015; Galíndez et al., 2018).

Nas aberturas 5,5; 6,5 e 7,5 restaram, em média, 13,2%, 8,1% e 5%, respectivamente, de sementes não íntegras na base, de um total de 40,6% antes do beneficiamento (Tabela 2), aumentando consideravelmente a qualidade das sementes na base do soprador. Contudo, este resultado está atrelado às características físicas (Tabela 2) das sementes de erva-mate que

apresentam diferentes comportamentos quando expostas a fluxos de ar.

A partir da abertura 5,5, 68,2% do total de sementes não íntegras foram transferidas da base do soprador para a aleta, considerando a média de todas as matrizes. Contudo, a variação entre as matrizes foi de 44% a 78,8%. Na abertura 6,5, a média foi de 80,1%, com variação de 70,9 a 93% entre as matrizes. E na abertura 7,5, a média de 87,2% do total de sementes não íntegras removidas da base e variação de 69,9 a 96%.

A quantidade de sementes viáveis na base do soprador foi muito variável entre matrizes e aberturas do soprador (Figura 3A). Com exceção das matrizes M15 e M22 não houve redução no percentual de sementes viáveis na base do aparelho em aberturas do ar até 4 cm. As matrizes M16 e M20 apresentaram redução menos acentuada de sementes viáveis nas maiores aberturas de ar. Embora para algumas matrizes a maior fração de sementes viáveis tenha permanecido na base do aparelho, à medida que aumentou o fluxo de ar, também reduziu proporcionalmente a fração de sementes viáveis na base, pois parte dessas foram sopradas para a aleta (Figura 3B). Nas aberturas zero e 3,5 não foi verificada a presença de sementes viáveis na aleta para nenhuma matriz, ou seja 100% das sementes viáveis permaneceram na base do soprador. A partir da abertura 4,5 foi verificado que 95,4% do total de sementes viáveis permaneceu na base e somente 4,6% foram transferidas para a aleta. Na abertura 5,5 observou-se 90,4% do total de viáveis estavam na base e 9,6% foram sopradas para a aleta. Na abertura 6,5, 82,1% do total de sementes viáveis ficou na base e 17,9% na aleta e na abertura 7,5, 74,5% do total de sementes viáveis permaneceram na base e 25,5% na aleta.

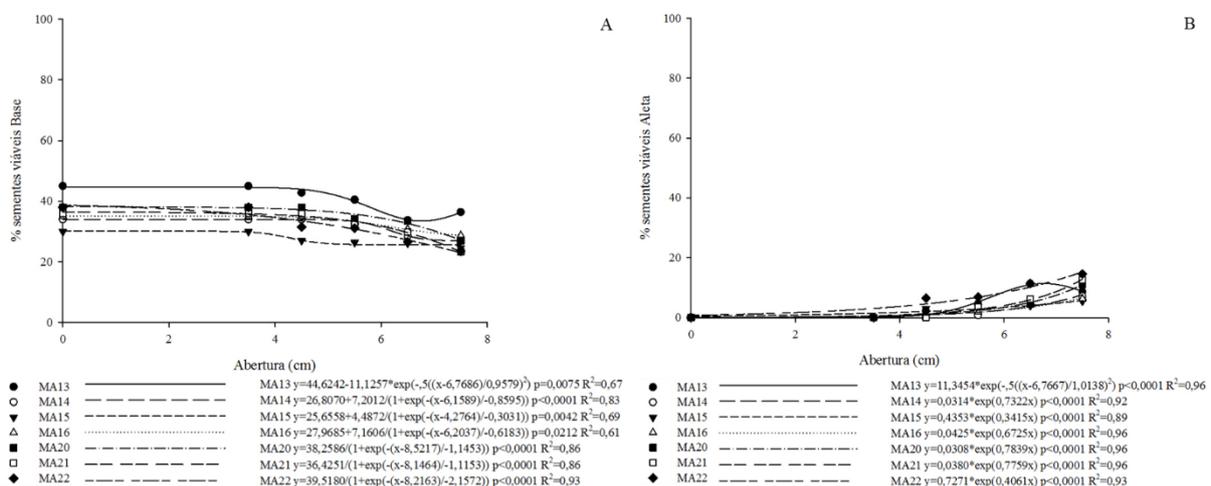


Figura 3. Porcentagem total de sementes viáveis de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) retidas na base (A) e na aleta (B) para diferentes aberturas (cm) do soprador e plantas matrizes, Rio Grande do Sul, Brasil. Fonte: Winhelmann et al. (2021).

Contudo, a análise separada de cada matriz mostrou que os valores apresentaram muita variação. Na abertura 4,5 não foi verificada a presença de sementes viáveis na aleta para as matrizes MA14, MA16, MA20 e MA21. Porém, nesta mesma abertura, a matriz MA22 teve 17,1% do total de sementes viáveis sopradas para a aleta e as matrizes MA13 e MA15 apresentaram 4,9% e 10,0%.

De forma geral, a matriz MA22 apresentou as maiores porcentagens de sementes viáveis deslocadas para a aleta, com média de 25,8% do total de viáveis descartadas, sendo que na abertura 4,5 apresentou 17,1% do total de viáveis descartadas e este valor foi aumentando acentuadamente, culminando com 38,1% do total de sementes viáveis sopradas para a aleta na maior abertura.

A variabilidade observada neste estudo se deve ao fato de as matrizes apresentarem diferenças principalmente com relação às características físicas, como PMS e dimensões (medida longitudinal e transversal) (Tabela 2), consequentemente apresentam comportamentos distintos quando expostas a um fluxo de ar. A remoção de materiais indesejáveis só é possível se houver diferenças físicas entre os componentes, dentre as quais estão: largura, espessura, comprimento, peso, forma, peso específico, textura superficial, cor, condutibilidade elétrica e afinidade por líquidos, sendo o peso e o tamanho as mais comumente utilizadas (Peske, Villela & Meneghello, 2019).

À medida que aumentou a abertura do soprador aumentou a velocidade terminal do fluxo de ar. Esta é afetada pela massa do objeto, aceleração da gravidade, densidade do fluido onde o objeto está caindo, área do objeto e coeficiente de atrito do objeto. Portanto, uma vez que há baixa variabilidade quanto à área das sementes de um mesmo lote, torna-se possível a separação de sementes de menor densidade, decorrente do processo deteriorativo ou de sua má formação. A

separação de sementes de erva mate vazias, malformadas e deterioradas foi possível com o uso do soprador, contudo com comportamento diferenciado entre matrizes, pelo fato de as sementes apresentarem características morfológicas distintas.

Neste estudo, o aumento da viabilidade foi associado ao aumento do fluxo de ar, ou seja, aberturas maiores, com maior fluxo de ar proporcionaram o aumento da qualidade do lote de sementes. O mesmo foi verificado por Faria et al. (2019) quando utilizaram seis aberturas (1, 2, 3, 4, 5 e 6) na limpeza de sementes de *Moquiniastrum polymorphum* (Less.) G. Sancho, e verificaram maior porcentagem de sementes cheias (100%) nas aberturas 5 e 6. Por meio de testes de germinação estes mesmos autores confirmaram a eficiência no uso do soprador na separação de sementes vazias e malformadas, indicando um aumento na qualidade da amostra final da fração pesada.

O uso do soprador pode ser uma alternativa para aumentar a porcentagem de viabilidade de lotes de sementes florestais, caracterizados pela alta porcentagem de sementes vazias (Phartyal et al., 2002) e, na maioria dos casos, com reduzida quantidade de sementes (Ferreira & Borghetti, 2004). Em *Acer caesium* Wall. Ex. Brandis, o lote de sementes apresentava 36% de viabilidade antes da limpeza e, após passagem no soprador, aumentou para 67,5%. Assim, o soprador foi eficaz para melhorar a qualidade do lote, que antes da limpeza apresentava alta porcentagem de sementes vazias e consequentemente baixa viabilidade (Phartyal et al., 2002).

Para a matriz MA14 foi verificado o menor incremento no percentual de sementes viáveis na base, de 34% para 41% na abertura 7,5, aumento de sete pontos percentuais e descarte de 20,9% do total de sementes viáveis. Esta foi seguida pela matriz MA15, que elevou em 14 pontos percentuais a viabilidade, 30% para 44% e com 18% do total de sementes viáveis sopradas para a aleta (Figura 4).

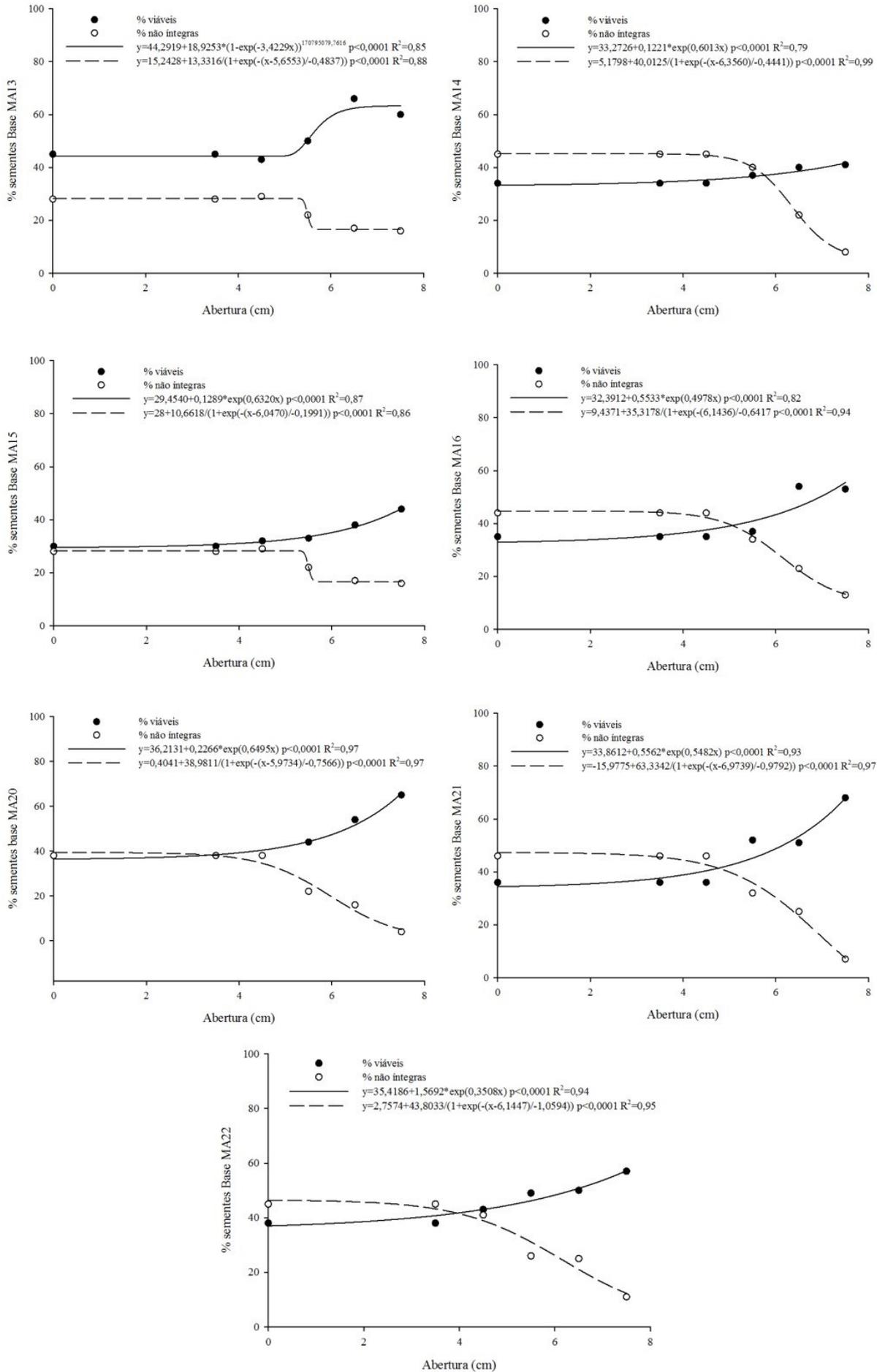


Figura 4. Porcentagem de sementes viáveis e não íntegras de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) considerando a proporção retida na base para diferentes aberturas (cm) do soprador e plantas matrizes, Rio Grande do Sul, Brasil. Fonte: Winhelmann et al. (2021).

As matrizes MA16 e MA22 apresentaram aumento de 19 pontos percentuais, porém com 17,9% e 38,1% do total de sementes viáveis eliminadas na fração leve, respectivamente. As matrizes MA20 e MA21 apresentaram o maior aumento na porcentagem de sementes viáveis na base (27% e 32%), com 29,1% e 35,1% de sementes viáveis transferidas da base para a aleta do soprador, respectivamente. Para todas estas matrizes, a maior porcentagem de viáveis foi verificada após o tratamento com abertura 7,5. Considerando a matriz MA13, o mesmo foi

verificado com a abertura 6,5, apresentando 66% de viabilidade (Figura 4).

Para a porcentagem de sementes íntegras, mas não viáveis, este processo não foi muito eficiente, visto que, de forma geral, as sementes apresentam as mesmas características físicas (formato, cor e massa) das sementes viáveis. Dessa forma, não houve diferença entre as aberturas, não sendo possível ajustar uma equação. Na aleta, a proporção destas sementes teve um leve incremento à medida que aumentou a abertura até 6,5, com média de 3,5%, reduzindo para 2,8% na abertura 7,5 (Figura 5).

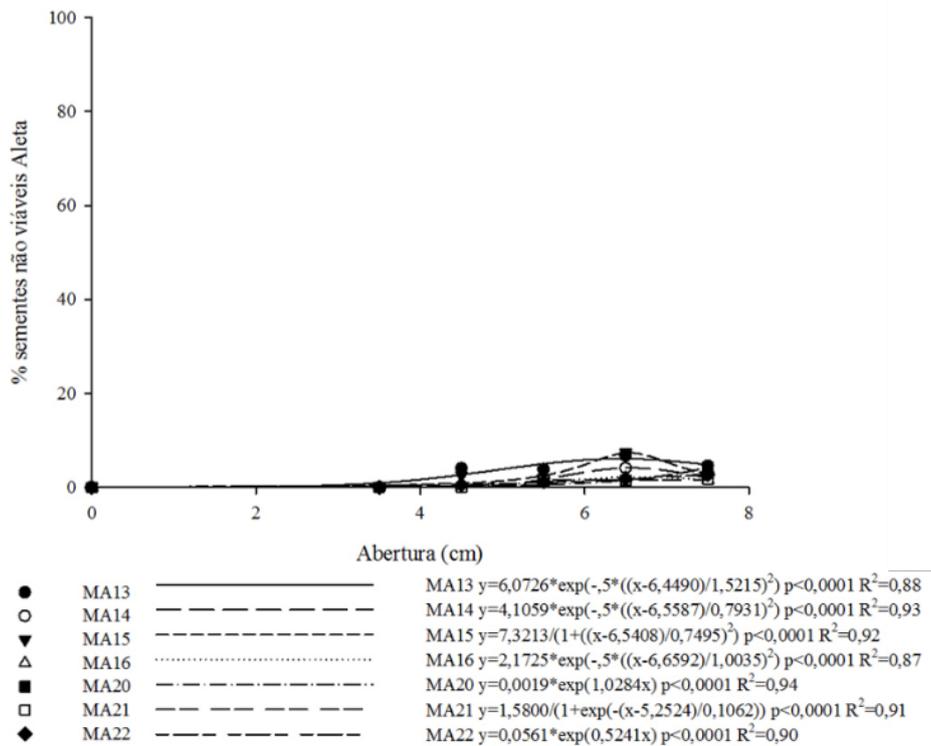


Figura 5. Porcentagem total de sementes não viáveis de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) retidas na aleta para diferentes aberturas (cm) do soprador e plantas matrizes, Rio Grande do Sul, Brasil. Fonte: Winhelmann et al. (2021).

O peso de mil sementes de todas as matrizes apresentou aumento significativo na fração contida na base, à medida que aumentou a abertura, com exceção da matriz MA13 que apresentou maior PMS na abertura 6,5 (Figura 6A). Essa matriz apresentou maior velocidade terminal

e maior quantidade de massa retida na abertura 6,5, quando comparado com a abertura 7,5 (Tabela 1). Isso pode ser explicado pelo fato dessa matriz apresentar os menores diásporos (Tabela 2), o que pode ter influenciado na distribuição da massa, quando exposta à fluxos de ar de maior velocidade.

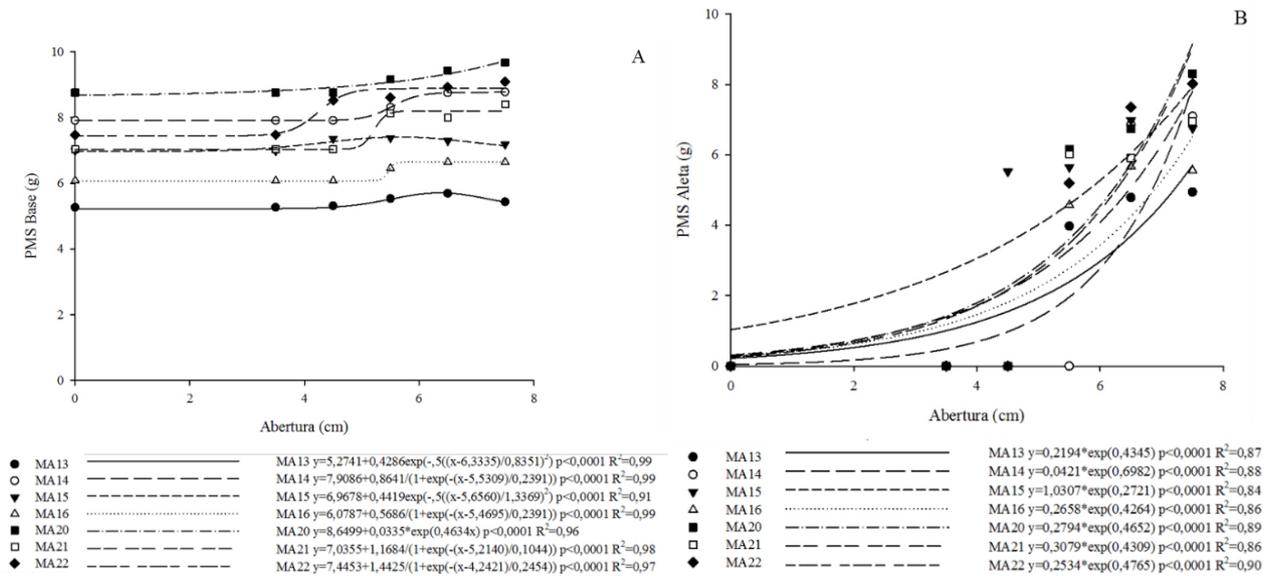


Figura 6. Peso de mil sementes (PMS) (g) de erva-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) retidas na base (A) e na aleta (B) para diferentes aberturas (cm) do soprador e plantas matrizes, Rio Grande do Sul, Brasil. Fonte: Winhelmann et al. (2021).

Para o PMS na aleta, observou-se aumento significativo, possivelmente porque nas aberturas inferiores (0, 3,5 e/ou 4,5) não foi verificada a presença de sementes (íntegras e viáveis) (Figura 6B). Porém, o PMS da fração pesada (da base) é superior ao PMS na fração leve (da aleta) para a mesma abertura e matriz. Esses resultados confirmam que a separação das sementes de erva-mate com soprador está diretamente relacionada à massa individual das mesmas.

Após o beneficiamento de sementes de *Tripsacum dactyloides* (L.) L. também foi verificado incremento no peso e na viabilidade das cariopses à medida que aumentou a abertura do soprador (Finneseth & Geneve, 2012). Tal relato confirma que o uso de soprador aumenta a qualidade do lote de sementes e disponibiliza sementes homogêneas com alto potencial fisiológico, garantindo melhor desempenho, por meio do crescimento e estabelecimento das mudas no campo (Faria et al., 2019).

Com o beneficiamento de sementes de *Eremanthus incanus* (Less.) em soprador, foi verificado incremento no número de sementes de maior tamanho, visto que esta espécie apresenta baixa qualidade de sementes devido à formação de estruturas estéreis, o que contribuiu para melhorar a qualidade do lote (Davide, Tonetti & Silva, 2011).

Durante o beneficiamento de sementes, além do objetivo de retirar a maior porcentagem de impurezas do lote, é importante fazê-lo com o mínimo possível de perdas. Nenhum procedimento utilizando fluxo de ar é perfeito e absoluto, portanto, mesmo conseguindo definir um ponto de abertura ótimo, algumas sementes viáveis acabam

sendo sopradas junto com as sementes vazias (Garay, Elias & Meyer, 2009). Sendo assim, para definir o ponto de abertura ótimo é necessário levar em consideração qual o percentual de descarte aceitável para atingir determinada qualidade do lote de sementes.

Para gramíneas forrageiras, o ponto ótimo de abertura é identificado no ponto de intersecção entre a porcentagem de sementes puras e impurezas. As cariopses vazias são facilmente eliminadas por esta técnica e incrementam a pureza do lote. Contudo, nem sempre é possível identificar o ponto exato de intersecção, como foi verificado para três diferentes lotes de sementes de *Festuca arundinaceae*, sendo que para dois lotes se encontrou o ponto de intersecção e no terceiro se determinou uma faixa adequada para a obtenção de um valor máximo de germinação (Garay, Elias & Meyer, 2009).

Os lotes de sementes podem apresentar pesos específicos variáveis dependendo do ano de colheita, como consequência de fatores internos e externos que influenciam a formação das sementes. Isso faz com que a abertura do soprador seja ajustada de acordo com as características do lote para que se obtenha os melhores resultados na limpeza, ou que sejam adotadas faixas de abertura ideais que atendam a variabilidade de determinada espécie entre diferentes lotes e anos de colheita (Grzybowski et al., 2019).

O uso do soprador no beneficiamento de sementes é um processo simples, prático e rápido, uma vez que a faixa de abertura ideal foi definida (Garay, Elias & Meyer, 2009), sendo possível aumentar a viabilidade de um lote, com o incremento de sementes viáveis na fração pesada.

Assim, do ponto de vista técnico, a velocidade média de 100 km h⁻¹, que neste estudo corresponde às aberturas de 5,5 e 6,5 cm, as quais podem ser utilizadas no beneficiamento de sementes de erva-mate, aumentando a porcentagem de sementes viáveis na fração pesada, sem que ocorra um descarte em excesso na fração leve. Essa velocidade também promove a remoção de impurezas, o que diminui a quantidade de material que é colocado para estratificar e reduz a fonte de possíveis contaminações que contribuem para a degradação das sementes durante esse processo.

É provável que essa variabilidade seja consequência de as matrizes serem oriundas de diferentes ecótipos nativos. Não foram encontradas informações na literatura referentes ao limite de perdas máximas na fração leve de sementes viáveis para a cultura da erva-mate. Na abertura 5,5 foi verificada uma perda média de 9,6% do total de sementes viáveis e na abertura 6,5 perdas de 17,9% do total de viáveis. Admite-se que perdas inferiores à 20% sejam aceitáveis, quando se considera o incremento da porcentagem de sementes viáveis na fração resultante do beneficiamento pelo aparelho. Porém, esta decisão depende do demandante, conforme disponibilidade de sementes. Atualmente, os pequenos viveiristas processam as sementes de forma artesanal, estando, por esta razão, sujeitos a variações na disponibilidade, uma vez que dispõem de um número reduzido de matrizes e dependem da produtividade destas em cada ano. No entanto, considerando a possibilidade de comercialização de sementes de erva-mate, oriundas de povoamentos de matrizes conduzidos para a produção de sementes, por exemplo, em que os lotes devem ter pureza e viabilidade padronizadas, considera-se que o método aqui testado pode auxiliar nesse processo.

O beneficiamento de sementes de erva-mate com soprador contribui para a redução de custos com manuseio de sementes na estratificação, semeadura e repicagem, além de otimizar recursos no viveiro com adubação e irrigação. Se levarmos em consideração o processo de produção de mudas de erva-mate, a obtenção de lotes de sementes com maior qualidade física e fisiológica pode contribuir para viabilizar a semeadura mecanizada.

Conclusão

O uso do soprador aumenta a qualidade física e fisiológica das sementes de erva-mate ao promover a remoção de sementes não íntegras (vazias + degradadas). As aberturas entre 5,5 e 6,5 cm, com velocidade terminal média de 100 km h⁻¹, são indicadas para o beneficiamento de sementes

de erva-mate, considerando a viabilidade e o PMS obtidos neste estudo.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de doutorado para o primeiro autor e à Secretaria do Desenvolvimento Econômico, Ciência e Tecnologia do Governo do Estado do Rio Grande do Sul (SDECT) - Termo de colaboração: DCIT 60/2017 pelo auxílio financeiro.

Referências

- Brasil. 2009. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: MAPA/ACS. 399p.
- Catapan, M. I. S. 1998. Influência da temperatura, substrato e luz na germinação de sementes de *Ilex paraguariensis* St. Hil. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, Paraná, Brasil. 109p.
- Croge, C. P.; Cuquel, F. L.; Pintro, P. T. M. 2021. Yerba mate: cultivation systems, processing and chemical composition. A review. *Scientia Agricola*, 78, 1-11. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2019-0259>
- Davide, A. C.; Tonetti, O. A. O.; Silva, E. A. A. da. 2011. Improvement to the physical quality and imbibition pattern in seeds of candeia (*Eremanthus incanus* (Less.) Less.). *Cerne* 17, 321-326. <https://doi.org/10.1590/S0104-77602011000300005>
- Faria, J. C. T.; Melo, L. A.; Assumpção, C. R. M.; Brondani, G. E.; Breier, T. B.; Faria, J. R. M. 2019. Physical quality of seeds of *Moquiniastrum polymorphum*. *Brazilian Journal of Biology*, 79, 63-69. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.175407>
- Ferreira, A. G.; Borghetti, F. 2004. Germinação: do básico ao aplicado. Artmed, Porto Alegre. 254p.
- Finneseth, C. H.; Geneve, R. L. 2012. Physical enhancement improves seed-lot quality in eastern gamagrass (*Tripsacum dactyloides*). *Acta Horticulturae*, 938, 69-75. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.938.8>
- Galíndez, G.; Ceccato, D.; Bubillo, R.; Lindow-López, L.; Malagrina, G.; Ortega-Baes, P.; Baskin, C.C. 2018. Three levels of simple morphophysiological dormancy in seeds of *Ilex* (Aquifoliaceae) species from Argentina. *Seed Science Research*, 28, 131-139. <https://doi.org/10.1017/S0960258518000132>
- Garay, A.; Elias, S.; Meyer, D. J. L. 2009. Development of a uniform blowing procedure

- for grass seeds: principles, applications and benefits. *Ista News Bulletin*, 138, 26-32.
- Grigoletti Junior, A.; Zanon, A.; Auer, C. G.; Fower, J. A. P. 1999. Efeito de fungicidas aplicados nas sementes, na emergência de plântulas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). *Boletim de Pesquisa Florestal*, 39, 31-39.
- Grzybowski, C. R. de S.; Silva, R. C. da; Vieira, E. S. N.; Panobianco, M. 2019. Processing and physical and physiological quality of the native forest seeds of *Vernonanthura discolor*. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 41, e39574.
<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v41i1.39574>
- Mireski, M. C.; Guedes, R. S.; Wendling, I.; Peña, M. L. P.; Medeiros, A. C. de S. 2019. Secagem na viabilidade e desenvolvimento embrionário de sementes de *Ilex paraguariensis*. *Ciência Florestal*, 29, 1354-1362.
<https://doi.org/10.5902/1980509824451>
- Peske, S. T.; Villela, F. A.; Meneghello, G. E. 2019. Semente: fundamentos científicos e tecnológicos. Ed. Becker e Peske, 4^a ed. 579p.
- Phartyal, S. S.; Thapliyal, R. C.; Nayal, J. S.; Joshi, G. 2002. Processing of seed to improve seed lot quality of rare and endangered tree species of Himalayan maple (*Acer caesium* Wall. Ex. Brandis) and elm (*Ulmus wallichiana* Planchon). *Seed Science and Technology*, 30, 371-382.
- Souza, A. C. de; Oliveira, L. M. de; Souza, G. F.; Schmidt, S. S.; Liesch, P. P. 2020a. Causes of low seed quality in *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. samples (Aquifoliaceae). *Floresta e Ambiente*, 27, e20170960.
<https://doi.org/10.1590/2179-8087.096017>
- Souza, G. F.; Oliveira, L. M. de; Casa, R. T.; Agostinetto, L.; Souza, A. C. de; 2020b. Detection methods of fungi in *Ilex paraguariensis* seeds. *Floresta e Ambiente*, 27, e20170983. <https://doi.org/10.1590/2179-8087.098317>
- Souza, G. F.; Oliveira, L. M. de; Agostinetto, L.; Puchale, L. Z.; Sá, A. C. S. 2019. Efeito da estratificação em substrato esterilizado na qualidade sanitária de sementes de *Ilex paraguariensis*. *Ciência Florestal*, 29, p. 854-862. <https://doi.org/10.5902/1980509833194>
- Wendling, I.; Santin, D. 2015. Propagação e nutrição de erva-mate. Embrapa, Brasília. 195p.