



DIAGNÓSTICOS DA PRODUÇÃO DE
Erva-Mate
NO RIO GRANDE DO SUL

Bruno Britto Lisboa
Larissa Bueno Ambrosini
Luciano Kayser Vargas
Jackson Freitas Brilhante de São José
André Dabdab Abichequer
Denise Reif Kroeff
Elisangela Alano Borges
Evelyn Penedo Dorneles
Helen Marocco de Oliveira
Tamara Trisch da Costa

**ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS,
PRODUTIVIDADE, FERTILIDADE
DO SOLO E NUTRIÇÃO DAS PLANTAS**



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL

SECRETARIA DA AGRICULTURA,
PECUÁRIA, PRODUÇÃO
SUSTENTÁVEL E IRRIGAÇÃO

DIAGNÓSTICOS DA PRODUÇÃO DE

Erva-Mate

NO RIO GRANDE DO SUL

**ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS,
PRODUTIVIDADE, FERTILIDADE
DO SOLO E NUTRIÇÃO DAS PLANTAS**

PROJETO GRÁFICO

Gabriela Oliveira Rosa

Rodrigo Nolte Martins (coordenação)

FOTOGRAFIAS

Fernando Kluwe Dias

PRODUÇÃO

Assessoria de Comunicação (Ascom/Seapi)

AUTORES

Bruno Britto Lisboa

Larissa Bueno Ambrosini

Luciano Kayser Vargas

Jackson Freitas Brilhante de São José

André Dabdab Abichequer

Denise Reif Kroeff

Elisangela Alano Borges

Evelyn Penedo Dorneles

Helen Marocco de Oliveira

Tamara Trisch da Costa

SECRETARIA DA AGRICULTURA, PECUÁRIA,
PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL E IRRIGAÇÃO (SEAPI)

Avenida Getúlio Vargas, 1384

Menino Deus

CEP 90150-004 - Porto Alegre - RS

Fone: (51) 3288-8000



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

D537	Diagnósticos da produção da erva-mate no Rio Grande do Sul : aspectos socioeconômicos, produtividade, fertilidade do solo e nutrição das plantas / Bruno Britto Lisboa ... [et al.]. – Porto Alegre : SEAPI/DDPA, 2023. 60 p. ISBN 978-65-84645-02-8 (livro) ISBN 978-65-84645-04-2 (e-book) 1. Erva-mate – Aspectos econômicos – Rio Grande do Sul. 2. Erva-mate – Cultivo – Rio Grande do Sul. I. Lisboa, Bruno Britto. CDD 633.77098165 CDU 633.77(816.5)
------	---

Elaborada pelo bibliotecário Flávio Nunes CRB 10/1298



Sumário

Introdução.....	08
Perfil socioeconômico da cadeia produtiva da erva-mate.....	12
Produtividade dos ervais no Rio Grande do Sul.....	22
Levantamento da fertilidade do solo dos ervais no Rio Grande do Sul.....	28
Estimativa das faixas de suficiência nutricional para diagnose foliar da erva-mate.....	38
Referências Bibliográficas.....	52
Apêndices.....	56



Introdução

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) é uma espécie típica das regiões subtropicais e temperadas da América do Sul, sendo encontrada no Brasil, Paraguai, Argentina e Uruguai, ocupando 5% do território nacional e 3% da América do Sul. Sua área de dispersão situa-se em toda a Região Sul (Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná), estendendo-se ainda ao sul do Mato Grosso do Sul, à província de Misiones, na Argentina, e ao Leste do Paraguai (Figura 1) (OLIVEIRA & ROTTA, 1985). A ocorrência da erva-mate é endêmica, de modo que sua existência na forma silvestre ocorre exclusivamente em uma região florestal do Sul da América. Esta área de ocorrência coincide aproximadamente com as grandes bacias hidrográficas dos rios Paraná, Paraguai, Iguaçu e Uruguai e com algumas de suas sub-bacias, como as dos rios Ijuí e Turvo, no Rio Grande do Sul, e a do rio Negro, na divisa entre Santa Catarina e Paraná. A ocorrência também está associada à altitude, com maior presença da erva-mate em terrenos situados entre 400 e 800 metros acima do nível do mar (GERHARDT, 2013).

A infusão da erva-mate, consumida na forma de mate/chimarrão (Argentina, Brasil e Uruguai) ou tererê (Paraguai e Brasil) é uma das bebidas mais emblemáticas da América Latina, sendo parte importante das culturas locais. Além do consumo tradicional, há uma tendência atual e crescente de diversificação de oferta de produtos derivados da erva-mate, de modo que bebidas industrializadas, cosméticos e medicamentos estão cada vez mais sendo produzidos, tanto no âmbito

nacional como internacional (CARDOZO JUNIOR & MORAND, 2016).

No contexto do Rio Grande do Sul, a folha verde de erva-mate é um dos principais produtos agrícolas do estado, sendo obtida por meio do extrativismo vegetal de ervais nativos e da colheita de ervais cultivados, gerando anualmente uma receita média de R\$ 226 milhões (IBGE, 2018). Estima-se que sejam cultivados no RS cerca de 35 mil hectares com erva-mate, sendo que parte da produção (2.900 ton/ano) é destinada à exportação para países como Alemanha, Argentina, Uruguai e EUA (FUNDOMATE, 2018).

No RS, a produção de folhas de *I. paraguariensis* está ligada muito fortemente à agricultura de base familiar, o que ressalta ainda mais a importância estratégica da cultura para a viabilização de um grande número de famílias de agricultores gaúchos. As regiões produtoras de erva-mate no RS são divididas em cinco polos ervateiros - Região dos Vales, Alto Taquari, Nordeste Gaúcho, Alto Uruguai e Palmeira das Missões (Figura 2) - os quais englobam 219 municípios (IBRAMATE, 2018). A erva-mate é uma cultura perene, a qual necessita de pelo menos doze anos para que a produção de folhas se estabeleça. A produtividade média dos ervais no RS está em torno de 9.500 kg ha⁻¹, média esta ainda considerada como baixa, tendo em vista que ervais bem manejados têm potencial para produzir cerca de 20.000 kg ha⁻¹ (IBRAMATE, 2018). No estado, as regiões produtoras da erva-mate estão

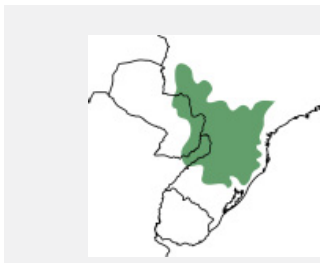


Figura 1. Área de ocorrência natural da erva-mate. Adaptado de OLIVEIRA & ROTTA (1985)

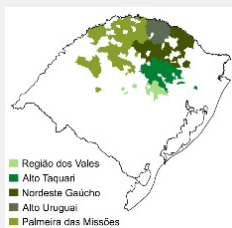


Figura 2. Localização dos polos ervateiros do Rio Grande do Sul. Adaptado de Ibramate (2018).

localizadas em áreas caracterizadas pela elevada acidez do solo (pH em torno de 4) e altos teores de Al trocável (STRECK et al., 2002). A tolerância natural de *I. paraguayensis* a teores elevados de Al^{3+} , que para a maioria das culturas é limitante, faz com que, de maneira geral, a correção do solo por meio da prática de aplicação de calcário não seja amplamente empregada pelos produtores. Esse tipo de situação, aliada a remoções intensivas de biomassa vegetal nas colheitas, poderia resultar em deficiência de Ca nas plantas, limitando assim a capacidade produtiva dos ervais em muitas propriedades (BRAGAGNOLO et al., 1980).

A erva-mate apresenta resposta positiva à adubação com N-P-K, entretanto, o balanço destes nutrientes no solo também vai determinar a eficiência na absorção dos mesmos. Tanto a deficiência quanto a aplicação em excesso de fertilizantes podem levar ao desequilíbrio nutricional, de modo que, por exemplo, altos teores de P no solo podem levar à deficiência de Fe no tecido vegetal da erva-mate (SANTIN et al., 2013a). Esses fatores ligados à fertilidade do solo e à nutrição vegetal poderiam explicar, em parte, o porquê da produtividade média dos ervais gaúchos ainda estar muito abaixo do potencial estimado para a cultura.

Portanto, apesar da importância econômica da erva-mate para o estado, ainda existe a falta de informações técnicas para o manejo nutricional dos ervais. Diferentemente de outras culturas importantes, ainda não foram determinadas faixas de suficiência e níveis críticos para a interpretação de resultados de análise foliar para a erva-mate (CQFSRS/SC, 2016), bem como a taxa de exportação de macro e micronutrientes na colheita. Esta condição torna-se mais problemática no caso da erva-mate, isto é, uma cultura perene, onde grandes quantidades de biomassa vegetal são removidas no processo de colheita, fazendo-se necessária a rápida reposição de nutrientes de forma equilibrada (ROZANE et al., 2016). Este fato pode estar relacionado com a dificuldade de se obter essas informações para culturas de crescimento lento como a erva-mate, e, principalmente quando a estratégia a ser adotada for a realização de ensaios de calibração específicos (CANTARUTTI et al., 2007). Assim, a cultura da erva-mate demanda

parâmetros que auxiliem na definição da quantidade e forma de adubação de reposição para que seja assegurada uma produtividade sustentável em longo prazo (CALDEIRA et al., 2001).

Como alternativas aos ensaios de calibração, que são demorados e apresentam custos elevados, existem métodos que permitem, por meio de avaliação de áreas de produção comercial, a obtenção de faixas de suficiência nutricional, como por exemplo, o método da Chance Matemática (WADT et al., 1998). Este método se relaciona com o método tradicional da calibração por levar em consideração níveis críticos e ótimos para determinados nutrientes, porém distinguem-se na forma em que os dados são obtidos. Assim, o presente trabalho apresenta a inédita estimativa das faixas de suficiência nutricional para macro e micronutrientes no tecido foliar da erva-mate.

Além das questões ligadas à fertilidade do solo e à nutrição das plantas, ainda não se tinha um conhecimento sistematizado sobre a forma e a intensidade de adoção de tecnologias por parte do produtor de erva-mate no RS. Informações estas que poderiam auxiliar na compreensão não só das formas de produção e dos atuais níveis de produtividade da cultura, mas também do perfil dos produtores, de modo a orientar políticas públicas para o setor.

Nos capítulos seguintes deste livro, serão apresentados os resultados de projetos de pesquisa desenvolvidos pelos pesquisadores do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA) da Secretaria da Agricultura, Pecuária, Produção Sustentável e Irrigação (SEAPI). Tais projetos foram custeados pelo Fundo de Desenvolvimento e Inovação da Cadeia Produtiva de Erva-Mate (Fundomate) e contaram com o apoio de técnicos da Emater/RS e com a colaboração dos produtores. Tiveram como objetivos: identificar a realidade socioeconômica dos produtores de erva-mate; avaliar a produtividade dos ervais nos diferentes polos ervateiros do estado; realizar um diagnóstico da fertilidade dos solos onde a erva-mate é cultivada; e estabelecer as faixas de suficiência nutricional para a erva-mate, de modo a possibilitar a diagnose foliar da cultura.





Perfil socioeconômico da cadeia produtiva da erva-mate

O Brasil é o maior produtor mundial de erva-mate, em 2020 o volume produzido atingiu mais de 950 mil toneladas (IBGE, 2020a; IBGE, 2020b), tendo superado a Argentina, atualmente segundo produtor, que registrou 812 mil toneladas no mesmo ano (INYM, 2020).

O IBGE realiza dois tipos de pesquisa para auferir a produção de erva-mate no Brasil. A Produção Agrícola Municipal (PAM) totaliza os dados provenientes da erva-mate cultivada, em geral em monocultivos a pleno sol, enquanto a Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura (PEVs) se refere a ervais nativos, onde a erva-mate é associada à vegetação florestal nativa (VESTENA & SANTOS, 2022).

Consolidando as duas bases de dados desde 2008, constata-se um aumento de quase 300 mil toneladas, uma variação positiva de 45% em nível nacional (Tabela 1). O Rio Grande do Sul, que já foi o maior produtor de erva-mate no país, ocupa atualmente a segunda posição no volume total de produção. O estado do Paraná tem aumentado sua participação na produção total, especialmente de erva-mate oriunda de ervais nativos ou sombreados.

No Rio Grande do Sul, a produção de erva-mate depende fundamentalmente de ervais cultivados. Os dados mais recentes dos sistemas PAM e PEV do IBGE mostram que, da produção total do estado em 2020, de 241.163 toneladas, 214.552 são provenientes de ervais cultivados, o que equivale a 89% do volume total (IBGE, 2020a; IBGE, 2020b). Entretanto, os ervais podem ser ainda manejados em consórcio com a floresta, o que pode contribuir para a conservação de espécies arbóreas ameaçadas de extinção e dos remanescentes florestais, auxiliando na conservação do solo e da água e na geração de serviços ecossistêmicos (MARQUES et al., 2019). Um dos motivos que explicam a redução da produção de erva-mate no estado é a perda de espaço para outras culturas temporárias, principalmente, a soja (VESTENA & SANTOS, 2022). A extração e cultivo de erva-mate em unidades de produção familiares, no entanto, ainda é uma fonte de renda que exige poucos investimentos e está ligada às tradições e à história das famílias. Essa produção tem grande importância do ponto de vista econômico, social e cultural nos estados do sul do país (MARQUES et al., 2019).

Tabela 1 - Quantidade produzida de erva-mate no Brasil (ton) 2008 - 2020. Adaptado de VESTENA & SANTOS (2022), IBGE (2020a) e IBGE (2020b).

Ano	Brasil	Mato Grosso do Sul	Paraná	Santa Catarina	Rio Grande do Sul
2008	654.500	4.208	287.257	81.527	281.508
2009	661.328	3.503	291.563	82.847	283.415
2010	653.103	3.769	289.814	74.876	284.644
2011	673.316	3.536	291.751	81.731	296.298
2012	765.956	2.712	374.489	105.169	283.586
2013	815.579	3.976	450.318	75.957	285.328
2014	935.877	3.143	512.412	123.885	296.437
2015	944.180	1.494	513.192	118.423	311.071
2016	977.049	1.966	541.744	118.478	314.861
2017	974.219	1.671	540.057	113.328	319.163
2018	939.580	1.358	559.408	121.037	257.777
2019	880.324	1.564	507.600	113.887	257.769
2020	953.516	1.379	600.633	110.341	241.163

Assim, nossa pesquisa buscou coletar informações que permitissem traçar um perfil socioeconômico dos produtores de erva-mate participantes do estudo. Para tanto, foi aplicado um questionário a 237 produtores com objetivo de obter informações sobre as propriedades, como área total e área dos ervais, principais fontes de renda e a relevância da cultura da erva-mate na composição da renda das famílias,

canais de comercialização mais acessados, bem como identificar os principais entraves enfrentados para o desenvolvimento da atividade do ponto de vista dos mesmos.

A Tabela 2 detalha a composição da amostra pesquisada, comparando com os dados acerca dos polos ervateiros, número de municípios, número de produtores, áreas dos ervais e produção.

Tabela 2 - Amostra da pesquisa agrupada por polo ervateiro.

¹Dados da pesquisa e ²IBGE (2017).

Polo ervateiro	Amostra		N° municípios		N° produtores		Área dos ervais		Produção	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
Palmeira das Missões	41	17,30	80	39,02	236	3,28	3.378	10,66	33.179	11,99
Alto Uruguai	42	17,72	30	14,56	2.478	34,45	6.822	21,54	62.218	22,48
Nordeste Gaúcho	34	14,35	41	19,9	263	3,66	1.120	3,54	10.519	3,8
Alto Taquari	108	45,57	39	18,93	3.933	54,68	19.285	60,88	164.306	59,37
Região dos Vales	11	4,64	15	7,29	283	3,93	1.070	3,38	6.517	2,35
Não informado	1	0,42								
Total	237	100	205	100	7.193	100	31.675	100	276.739	100

Os resultados sobre faixa etária e escolaridade mostram que a média de idade dos respondentes foi 53 anos, a maior parte deles, quase 40% tem entre 51 e 65 anos, e a maioria, 55,69%, estudou até o ensino fundamental (Tabela 3). A produção de erva-mate nos três estados do sul do Brasil é predominantemente oriunda de minifúndios (ANDRADE, 2002), e a mão

de obra é predominantemente familiar (KICHEL, 2002; VASCONCELLOS, 2012). Em nossa pesquisa, os dados mostram que, nas propriedades rurais, habitam em média 3,44 pessoas. A mão de obra é quase exclusivamente familiar, com média de 2,54 adultos trabalhando em cada estabelecimento rural. Apenas 5% contratam mão de obra externa.

Tabela 3 - Faixa etária e escolaridade.

Dados de pesquisa.

Idade	n	%	Escolaridade	n	%
Até 30 anos	10	4,22	Não alfabetizado	1	0,42
De 31 a 50 anos	63	26,58	Ensino fundamental	48	20,25
De 51 a 65 anos	93	39,24	Ens. fund. incompleto	84	35,44
Mais de 66 anos	35	14,77	Ensino médio	52	21,94
Não respondeu	36	15,19	Ens. médio incompleto	2	0,84
Total	237	100	Superior	14	5,91
			Superior incompleto	1	0,42
			Não respondeu	35	14,77
			Total	237	100

Na Argentina, que também se destaca na produção de erva-mate, essas mesmas características são observadas. Em Misiones, província que concentra 90% da produção de erva-mate naquele país, a produção se dá em pequenas e médias propriedades, em sua maioria familiares. Os estabelecimentos com menos de 5 hectares constituem 52% das unidades de produção de erva-mate, e aqueles com mais de 5 e até 25 ha representam outros 42% desse total; distribuindo entre estes dois estratos 64% da área total plantada com cultivo na província (RAU, 2009).

Quando se consideram os dados disponíveis para o Brasil e Região Sul, o maior volume de comercialização de erva-mate é realizado por estabelecimentos com até 50 hectares. No Rio Grande do Sul cerca de 80% da quantidade de erva-mate produzida e vendida é proveniente de estabelecimentos com até 50 hectares, esses estabelecimentos representam 90% daqueles dedicados ao cultivo de erva-mate (IBGE, 2017).

Em nossa amostra, as propriedades rurais com até 50 hectares perfizeram 80% do total da amostra, a área média das propriedades rurais foi de 26,28 ha, a moda, ou seja, o tamanho de área mais frequente ficou em 12,5 ha. Nota-se uma concentração maior de estabelecimentos

entre 10 a 20 ha, e entre 20 a 50 ha. Na tabela a seguir compilamos os dados das propriedades do estudo por faixa de área, comparando com o número total de estabelecimentos que cultivam erva-mate no estado e com a quantidade de erva produzida por faixas de área, conforme os resultados do último Censo Agropecuário do IBGE (Tabela 4).

A área de ervais média nas propriedades ficou em 8,11 ha, e a moda, 5 ha. A produtividade média registrada foi de 863 arrobas ha⁻¹, o que equivale a 12.945 kg ha⁻¹, maior que a média nacional, de 509,33 arrobas ha⁻¹ e que a média do estado, 587,73 arrobas ha⁻¹. A produtividade de erva-mate no país, medida pela Produção Agrícola Municipal, vem registrando quedas a partir de 2018, no RS a tendência foi oposta, havendo queda, entretanto, na última safra. Segundo o Ibramate (2018), a produtividade dos ervais do estado é considerada baixa em comparação com o potencial que a cultura pode atingir: 1.200 arrobas por hectare (@ ha⁻¹). Esse dado se manteve inferior a 600 arrobas até o ano de 2012 nos ervais gaúchos. Melhorias no manejo possibilitaram aumento para um valor próximo a 650 arrobas em 2015, até alcançar 669 arrobas em 2018. Esse mesmo ano foi marcado por uma severa estiagem, o que acabou por afetar a produtividade nos anos subsequentes.

Tabela 4 - Área das propriedades do estudo comparado ao número de estabelecimentos produtores e da quantidade produzida de erva-mate no RS.
¹Dados de pesquisa e ²IBGE (2017).

Faixas de área	Amostra pesquisa ¹		Estabelecimentos RS ²		Produção RS ²	
	n	%	n	%	toneladas	%
Menos de 5ha	18	7,59	721	9,96	5.346	3,71
De 5 a menos de 10ha	23	9,7	1.254	17,32	14.133	9,80
De 10ha a menos de 20ha	68	28,69	2.320	32,04	39.470	27,37
De 20ha a menos de 50ha	80	33,76	2.260	31,21	54.955	38,11
De 50ha a menos de 100ha	12	5,06	510	7,04	17.589	12,20
De 100ha a menos de 200ha	2	0,84	119	1,64	6.758	4,69
De 200ha a menos de 500ha	0	0	44	0,61	2.468	1,71
Mais de 500ha	1	0,42	14	0,19	3.465	2,40
Não respondeu	33	13,92				
Total	237	100	7.242	100	144.184	100

No gráfico seguinte (Figura 3), utilizamos dados da Produção Agrícola Municipal do IBGE, que acompanha o rendimento em kg ha^{-1} , para ilustrar a variação de produtividade dos ervais do estado desde 1995. Estudos anteriores demonstram que os produtores de erva-mate, em grande parte, têm nesse cultivo uma alternativa suplementar de renda, de modo que a erva possui um caráter de atividade permanente e de rendimento anual (ANDRADE, 2002; FERRAZ 1995). A erva-mate, nessas propriedades, é uma das culturas que compõe o sistema de produção, juntamente com plantio em consórcio com culturas temporárias (KICHEL, 2002; VASCONCELLOS, 2012).

No Rio Grande do Sul, segundo Horn et al. (2018), os ervais são consorciados com árvores nativas, bem como com outras culturas, como pastagens, soja, milho, citros, nogueiras e eucalipto. Os resultados de nossa amostra confirmam essa afirmação: a erva-mate é a principal fonte de renda de pouco mais de metade dos produtores (51%), seguida do cultivo de grãos (15,61%). A participação da cultura na renda da propriedade é de 54%, em média. A erva-mate é combinada com outras atividades rurais que geram renda à família, sendo as principais o cultivo de grãos, a silvicultura e a fruticultura (Tabela 5). No cultivo de grãos, predomina a soja, seguida do milho, enquanto alguns cultivam ainda feijão, trigo e aveia. Na

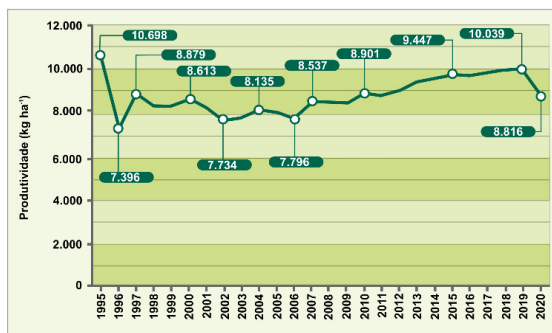


Figura 3. Produtividade dos ervais no RS (kg ha^{-1}) (IBGE, 2020b).

silvicultura, predomina o plantio de eucalipto e, na fruticultura, a produção de laranjas.

O maior uso da erva-mate no Brasil é para o preparo do chimarrão, o que coloca o RS como o maior consumidor do produto (FERRAZ, 1995). O processo de produção da erva-mate para o chimarrão passa por duas fases. A primeira, a colheita, realizada pelo produtor, e, em seguida, o cancheamento, sapeco, secagem e trituração, que ocorre nas agroindústrias, que também realiza o beneficiamento, que compreende a moagem, mistura e o empacotamento do produto (MACCARI JUNIOR, 2005; CARMO, 2007).

Dados do Instituto Brasileiro da Erva-mate contabilizam 72 indústrias beneficiadoras de folhas verdes de erva-mate no estado (IBRAMATE, 2018). A Secretaria da Agricultura do RS informa, no entanto, 253 empreendimentos beneficiadores cadastrados no órgão (SEAPDR, 2021), dado condizente com aquele apresentado por Oliveira e Waquil (2015), que estimaram, em 2015, 250 ervateiras no estado.

DIAGNÓSTICOS DA PRODUÇÃO DE ERVA-MATE NO RIO GRANDE DO SUL

Tabela 5 - Principais fontes de renda e atividades que geram renda às famílias. Dados de pesquisa.

Atividades	Principais fontes de renda*		Outras atividades que geram renda*	
	n	%	n	%
Agroindústria	2	0,84	13	5,49
Apicultura	1	0,42	3	1,27
Aposentadoria	2	0,84	7	2,95
Arrendamento			7	2,95
Atividades não rurais	1	0,42	5	2,11
Avicultura	2	0,84	5	2,11
Bovinocultura de corte	3	1,27	18	7,59
Bovinocultura leiteira	9	3,80	20	8,44
Cultivo de fumo	14	5,91	22	9,28
Cultivo de grãos	37	15,61	165	69,62
Erva-mate	121	51,05	2	0,84
Floricultura			1	0,42
Fruticultura	6	2,53	25	10,55
Horticultura	3	1,27	18	7,59
Ovinocultura			2	0,84
Piscicultura			5	2,11
Produção de mudas (Erva-mate)	2	0,84	4	1,69
Silvicultura (Eucalipto)	2	0,84	35	14,77
Suinocultura	5	2,11	11	4,64
Turismo rural			1	0,42
Não respondeu	36	15,19	52	21,94

*Soma maior que 100% pois mais de uma resposta era possível (% sobre total de produtores da amostra. n = 237).

Em pesquisa realizada nos anos 1990, Antoni (1995) constatou que, entre as empresas ervateiras, 70% eram de micro e pequeno porte. A soma das dez maiores empresas atingia entre 50 a 60% do mercado total, o que caracteriza o segmento como fragmentado, sem a presença de líderes de mercado.

Pesquisa mais recente no Polo Alto Taquari mostrou que 72% das indústrias

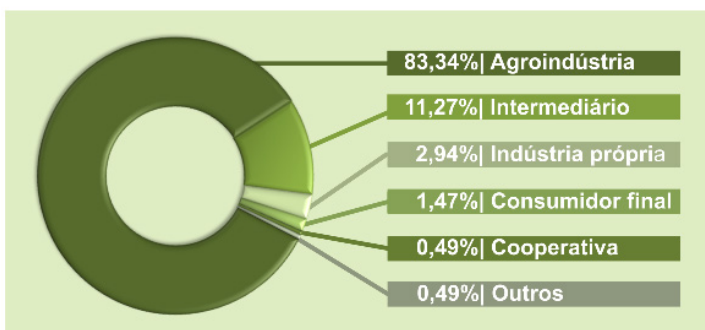
ervateiras eram de porte micro (até 19 pessoas ocupadas), o restante sendo de pequenas empresas (20 a 99 pessoas ocupadas). Como outras características do segmento no Alto Taquari, observa-se que 92% são indústrias "independentes", enquanto 8% faziam parte de um grupo, sendo filial de uma empresa, além do fato de que 76% dos empresários das ervateiras eram também agricultores que cultivam erva-mate (GREFF, 2016).

Em nosso estudo, a maior parte da produção é vendida diretamente para a indústria. Menos de 10% são comercializados via intermediário, e cerca 2,5% são beneficiados pelos produtores em agroindústria própria (Figura 4).

Segundo o Ibramate (2018), o valor médio da renda gerada por hectare de erva-mate

no estado no período entre 2000 e 2012 foi de aproximadamente R\$ 5.000,00 por hectare colhido. Exceção entre 2003 e 2005, onde se registrou queda. A partir de 2012 a 2014 ocorreu acentuado aumento da renda, que ultrapassou R\$ 11.000,00/ha/ano, porém, a partir de então, se constatou um declínio, atingindo valor inferior a R\$ 7.000,00 em 2016.

Figura 4. Destino da produção de erva-mate (%). Dados de pesquisa.



Analisando os dados referentes ao preço médio pago por arroba no estado, de fato,

percebe-se evolução dos preços de 1998 a 2013 (Figura 5).

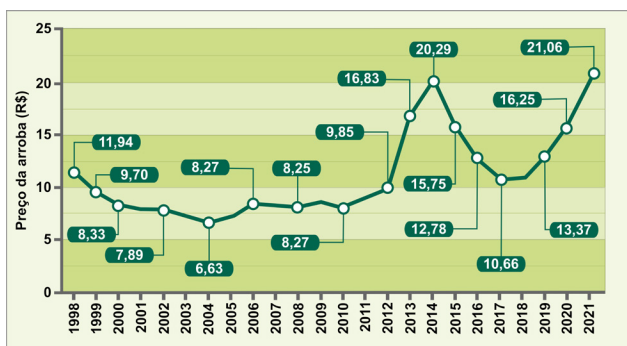


Figura 5. Evolução do preço médio da arroba de erva-mate no RS (DEE, 2020; SEAPDR, 2022).

Os preços reais da arroba passaram de R\$ 13, em maio de 2013, para R\$ 25, em dezembro de 2013, ou seja, quase dobraram no período. O comportamento de preços decorreu da quebra de safra, em consequência de problemas climáticos no ano anterior. Depois desse pico houve oscilações, mas os preços foram retornando paulatinamente ao nível anterior ao choque de oferta da safra 2013 (ZANIN & MEYER, 2018). Em 2018, a estiagem afetou a produção, como vimos anteriormente, o que voltou a afetar o preço da erva-mate. Além da queda na oferta, o consumo cresceu, pois, com a pandemia do coronavírus, o compartilhamento da cuia de chimarrão, hábito dos gaúchos, diminuiu muito e fez o consumo aumentar.

Em nosso estudo, 48% dos produtores rurais declararam que a tendência dos rendimentos da cultura nos últimos cinco anos foi de incremento, enquanto 29% responderam que foi de estabilidade. Para 7,5% dos produtores, a tendência foi de decréscimo e 15% não responderam a essa questão.

No entanto, dentre as dificuldades enfrentadas na produção de erva-mate, a maior parte dos entrevistados marcou como a principal o preço pago ao produtor rural. Em seguida, problemas com a falta de mão de obra na colheita e a falta de pesquisa para o segmento. Em "outros", o clima foi o principal entrave citado. No que se refere à atividade rural, de forma mais ampla, as principais dificuldades são a falta de mão de obra e de pesquisa (Figura 6)

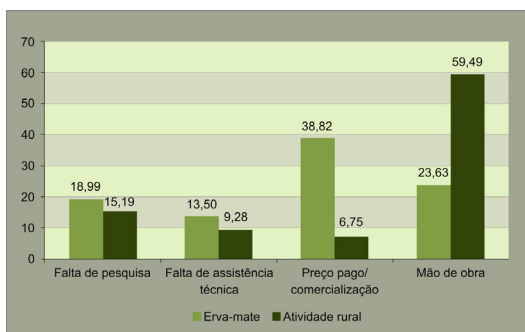


Figura 6. Principais dificuldades da produção de erva-mate e da atividade rural (%). Dados de pesquisa.

Segundo Ibramate (2018), as entidades representativas do setor ervateiro do estado buscam políticas públicas que contribuam para a solução de seu principal desafio: organizar e unir a cadeia produtiva para obter contínuo desenvolvimento e conquistar novos mercados consumidores, tanto em nível nacional como internacional. A entidade aponta ainda outros desafios a serem enfrentados: (i) combater a informalidade; (ii) oficializar a padronização dos produtos da erva-mate; (iii) equilibrar a oferta e o consumo; (iv) proporcionar preços justos para todos os agentes da cadeia produtiva; (v) garantir a qualidade

do produto desde os ervais. Dentre os desafios citados pela entidade, apenas um coincide com as dificuldades apontadas pelos produtores entrevistados em nosso estudo: proporcionar preços justos para todos os agentes da cadeia. A questão de mão de obra, a falta de pesquisa e assistência técnica seriam problemas que demandariam reflexão das entidades representativas do setor produtivo da erva-mate. A maioria dos produtores (58%) ainda afirmou que, quando planeja mudanças na produção de erva-mate, o fator mais relevante é o aumento de produtividade (Figura 7).

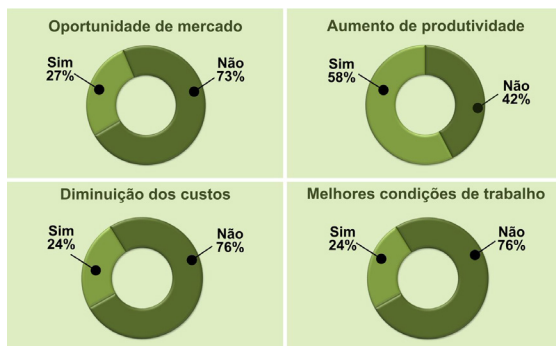


Figura 7. Fator mais importante quando planeja mudanças na produção de erva-mate (%). Dados de pesquisa.

Questionados como investiriam, caso tivessem recursos disponíveis, os entrevistados responderam, em sua maioria (43,04%), que investiriam na produção de erva-mate, seguido por compra de terras (22,78%), auxiliar os filhos (21,10%) e na diversificação da produção (18,57%). O projeto das famílias envolvidas na pesquisa é de permanecer na agricultura/pecuária (82,3%). Apenas 2,95% responderam que não pretendem permanecer, enquanto 14,77% não responderam ou não souberam responder. A maior parte dos entrevistados, 67,93%, inclusive, declarou que gostaria que seus filho(as) seguissem a profissão de produtor rural, 7,17% disseram que não gostariam, enquanto 24,9% não responderam ou não souberam responder.

Em síntese, a área média dos ervais integrantes desta pesquisa é de 8,11 hectares, sendo sua produtividade média

maior do que as médias estadual e nacional. A erva-mate é a principal fonte de renda de pouco mais de metade dos produtores, seguida do cultivo de grãos. A indústria é o principal canal de comercialização para o produto. A participação da cultura na renda da propriedade é 54%, em média. A tendência dos rendimentos para a maioria foi de crescimento nos últimos cinco anos. Os produtores parecem apostar na cultura como uma boa alternativa de renda, uma vez que a maioria declarou que investiria na erva-mate, caso tivesse recursos financeiros disponíveis. Mesmo assim, o preço recebido pelo produtor parece não ser o suficiente, pois esse fator foi apontado como o principal entrave enfrentado na produção de erva-mate, seguido pela falta de mão de obra na colheita e falta de pesquisa para a cultura. No que se refere à atividade rural, a principal dificuldade é falta de mão de obra e de pesquisa.





Milho e Feijão
1997 - Estabelecimento de Unidade

Produtividade dos ervais no Rio Grande do Sul

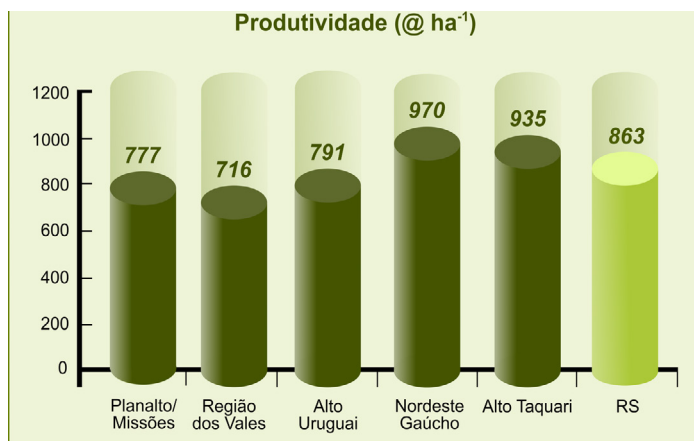
Em nossa pesquisa, a produtividade média de erva-mate (Figura 8), obtida por meio de aplicação de questionário aos produtores (197 amostras), foi estimada em 863 @ ha⁻¹ ou 12.945 kg ha⁻¹, valor bastante inferior à capacidade produtiva para a cultura, a qual excede a 1.300 @ ha⁻¹ ou 19.500 kg ha⁻¹ (IBRAMATE, 2018). As médias, independentemente do Polo Ervateiro, ficaram abaixo de 1.000 @ ha⁻¹ (15.000 kg ha⁻¹).

De acordo com as informações obtidas junto aos produtores, a produtividade dos ervais, em áreas com pelo menos oito anos de implantação, variou entre 200 a 2.400 @ha⁻¹. Neste contexto, 68% dos ervais avaliados apresentam produtividade abaixo de 1.000 @ha⁻¹, enquanto apenas 21% produzem mais do que 1.200 @ha⁻¹. Estes dados demonstram a existência de áreas com capacidade produtiva muito baixa, mas também a existência de um enorme potencial para aumento de produção.

Comparando-se os ervais conduzidos nos sistema de manejo Pleno Sol (PS) e Sombreado (S), foi constatado que não há diferenças significativas entre as produtividades dos dois sistemas (Figura 9). A média de produtividade dos ervais conduzidos em PS ficou em 888 @ ha⁻¹, enquanto nos conduzidos em sistema S, a média foi muito semelhante, 849 @ ha⁻¹.

Poderia ser esperada uma diferença significativa na produtividade entre os dois sistemas de manejo. A erva-mate sombreada recebe uma incidência menor de radiação solar, o que pode impactar negativamente sua produtividade. CARON et al. (2014) verificaram que somente 15% do total de radiação incidente estavam disponíveis para a erva-mate em um sistema de consórcio com pinus (*Pinus elliottii*), em comparação com plantas cultivadas em pleno sol.

Figura 8. Produtividade média dos ervais avaliados no estado do RS e nos diferentes polos ervateiros (@ ha⁻¹). Dados de pesquisa.



Outro motivo que poderia indicar uma tendência de maior produtividade para o sistema PS seria pelo fato deste apresentar maiores densidades de erveiras em relação ao sistema S, em função de que, no último, as plantas de erva-mate acabam por ter que dividir espaço com as demais espécies florestais que constituem o sistema.

Entretanto, de acordo com os dados coletados nos ervais que participaram do trabalho, as médias de densidade de plantas foram praticamente idênticas entre os dois sistemas de manejo (Figura 10), o que pode explicar as produtividades semelhantes.

Figura 9. Produtividade média dos ervais manejados como "Sombreado" e "Pleno Sol" no estado do Rio Grande do Sul (@ ha⁻¹).

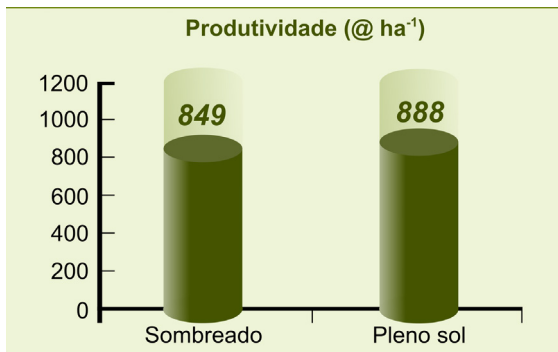
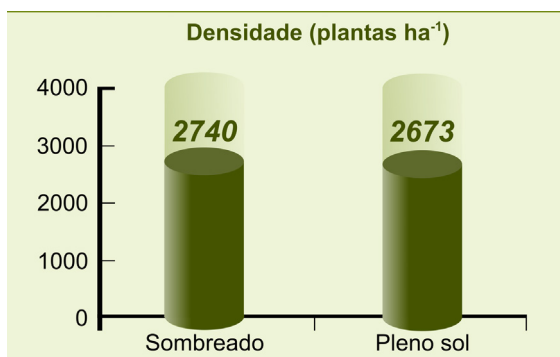


Figura 10. Densidade média de plantas em ervais manejados como "Sombreado" e "Pleno Sol" no estado do RS e nos diferentes polos ervateiros (plantas ha⁻¹).



Também é interessante notar que a maioria dos produtores realizam adubações nos seus ervais visando à reposição de nutrientes, conforme apresentado na Figura 11. Observa-se que 83% dos ervais avaliados foram adubados há no máximo um ano após a coleta das informações, indicando que a reposição de nutrientes ao solo ocorre na grande maioria das áreas. Neste caso, existe a predominância do emprego de adubos

minerais (76%) em relação à adubação orgânica (11%), enquanto em 13% dos ervais são empregados tanto adubo orgânicos como minerais. Além disso, também foi constatado que nos últimos dois anos, 50% dos ervais receberam alguma dose de corretivo de acidez do solo, predominando o emprego de calcário dolomítico, havendo, portanto, também a reposição de Ca e Mg no solo.

Outro fator que afeta a produtividade dos ervais é a densidade de plantio, ou seja, a quantidade de plantas cultivadas por hectare. Utilizados os dados coletados, observa-se que os ervais amostrados são manejados em densidades que variam desde 556 plantas ha⁻¹ até 6.667 plantas ha⁻¹, sendo que a densidade média foi de 2.694 plantas ha⁻¹.

De modo a estabelecer um intervalo de densidades de plantas no qual ocorram as maiores possibilidades de serem observadas altas produtividades de erva-mate, utilizamos o Método da Chance Matemática (ChM) (WADT et al., 1998; KURIHARA, et al., 2005) (Figura 12), empregando as informações de ervais manejados em sistema Pleno Sol. Assim, foi estimado que a faixa de 1.921 a 2.831 plantas ha⁻¹ é a que apresenta o maior potencial para serem obtidas elevadas produtividades de erva-mate, sendo a densidade considerada ótima pela análise estimada em 2.376 plantas ha⁻¹. Portanto, a partir da densidade média de plantio de erva-mate manejada em Pleno Sol observada no presente trabalho, verifica-se que, de forma geral, os ervais no RS estão estabelecidos em densidades que favorecem a obtenção de produtividades elevadas. É esperado que a produtividade dos ervais também seja significativamente influenciada por aspectos ligados à fertilidade dos solos e à nutrição das plantas. Estes aspectos serão discutidos detalhadamente nos próximos capítulos deste livro.

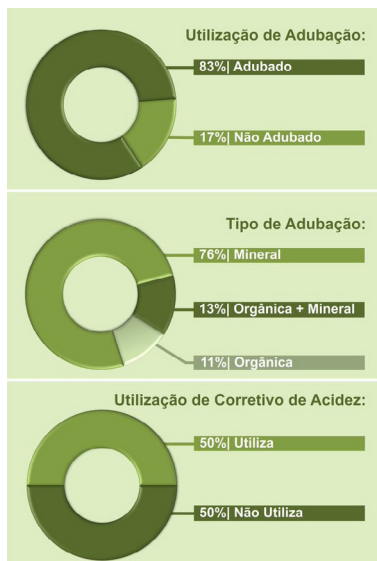


Figura 11. Percentuais de ervais que receberam adubação no último ano e tipo de adubo utilizado. Percentuais de ervais que receberam a aplicação de corretivo de acidez do solo nos últimos dois anos.

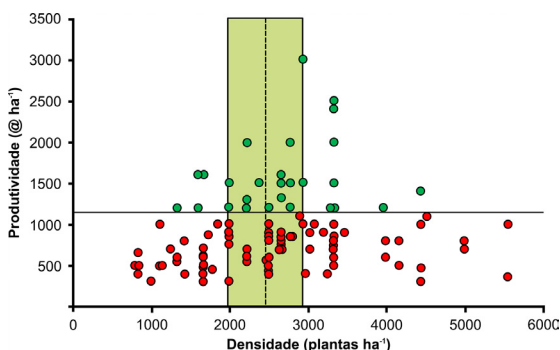


Figura 12. Relação entre produtividade e a densidade de plantio de erva-mate. Os pontos verdes e vermelhos representam as amostras de ervais com produtividade acima e abaixo de 1200 @ ha⁻¹, respectivamente. O retângulo delimita a faixa de densidade mais adequada de acordo com o Método da Chance Matemática. A linha tracejada representa a densidade ótima (2376 plantas ha⁻¹).







DATA	
GAMBAR	
1	2000
2	2000
3	2000
4	2000
5	2000
6	2000
7	2000
8	2000
9	2000
10	2000
11	2000
12	2000
13	2000
14	2000
15	2000
16	2000
17	2000
18	2000
19	2000
20	2000

Levantamento da fertilidade do solo dos ervais no Rio Grande do Sul

Para a avaliação da fertilidade dos ervais gaúchos, foi efetuada, no Laboratório de Química Agrícola do Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária (DDPA/SEAPI), a análise química de 197 amostras de solo. Os resultados foram avaliados e classificados conforme a recomendação oficial do estado (CQFS-RS/SC, 2016; CQFS-RS/SC, 2004).

Considerando-se a média de todas as áreas amostradas, observa-se que o teor de P disponível no solo é classificado como médio (Tabela 6) conforme CQFS-RS/SC (2016). Entretanto, quando se observa a proporção das classes de disponibilidade do nutriente no solo (Tabela 7), constata-se que 50% dos ervais apresentaram solos com níveis deficientes do nutriente (baixo e muito baixo), enquanto 40% possuem teores

altos e 10% teores médios. Esses resultados poderiam sugerir que haveria uma resposta positiva à adubação fosfatada, capaz de aumentar a produtividade de grande parte dos ervais. No entanto, a erva-mate é considerada uma espécie que possui baixa demanda pelo nutriente, o que faz com que a suplementação com P não traga ganhos em produtividade (REISSMANN et al., 1999; SOUZA et al., 2008). Esta condição pode ser evidenciada ao observarmos a taxa de exportação de P na colheita da erva-mate, estimada por WOLF (2005), na ordem de 0,82 g kg⁻¹ de produto colhido. Aplicando-se este valor na média de produtividade apresentada no capítulo anterior (863 @ ha⁻¹), verifica-se que são exportados menos de 11 kg ha⁻¹ de P (25 kg ha⁻¹ P₂O₅) na colheita, um valor consideravelmente baixo.

Tabela 6. Parâmetros físico-químicos médios dos solos dos ervais amostrados.

Argila %	pH	SMP	P		K	MO	Al	Ca	Mg	H+Al	CTC
			mg dm ⁻³				cmol _c dm ⁻³				
37,3	4,9	5,5	16,4	162,2	3,3	1,9	5,8	2,19	10,2	18,62	
			%SAT		CTC	Fe	Zn	Cu	B	Mn	
			Bases		Al	g dm ⁻³		mg dm ⁻³			
			47,3	24,7	2,6	4,4	2,6	0,2	60,6		

Quanto ao teor de K, a classificação da sua disponibilidade no solo depende de a erva-mate ser considerada como uma cultura exigente ou pouco exigente ao nutriente. A recomendação oficial para os estados do RS e SC emprega diferentes faixas de disponibilidade de acordo com a CTC potencial do solo e com a exigência da cultura (CQFS-RS/SC, 2016). De maneira geral, utilizando-se os dados médios das análises dos solos dos ervais amostrados (Tabela 6), o teor de K disponível no solo é considerado como alto, independentemente do grupo de exigência utilizado. Porém, em termos percentuais (Tabela 7), considerando-se a erva-mate como pouco exigente em K (Grupo 3), podemos considerar que 81% das áreas amostradas possuem

disponibilidade alta para o nutriente, enquanto 13 e 6% apresentam média e baixa disponibilidade de K no solo, respectivamente, totalizando 19% das amostras abaixo do nível crítico. Por outro lado, considerando-a como uma cultura exigente em K (Grupo 2) o percentual de ervais com elevada disponibilidade de K é reduzido para 69%, enquanto 14 e 17% são de média e baixa disponibilidade do nutriente, o que eleva para 31% as amostras abaixo do nível crítico. Nesse contexto, em trabalho que avaliou o efeito da fertilização potássica em ervais no estado do Paraná, SANTIN et al. (2014b) observaram que a erva-mate foi responsiva à adubação potássica. Naquela pesquisa, o solo no qual o experimento foi realizado apresentava 54,9 mg dm⁻³ com

CTC_{pH7,0} igual a 17,68 cmol_c dm⁻³, o que, independentemente do grupo de exigência de K, faz com que a disponibilidade do nutriente no solo seja classificada como baixa. Naquelas condições, os autores obtiveram respostas produtivas com a aplicação de até 300 kg ha⁻¹ K₂O.

A demanda de K pela erva-mate pode ser dimensionada a partir da análise da exportação do nutriente no momento da colheita. Considerando-se o valor de 15,05 g kg⁻¹ relativo ao potencial de exportação de K na colheita da erva-mate, estimado por WOLF (2005), e a produção média da

erva-mate de 864 @ ha⁻¹, obtida no presente trabalho, é possível estimar que cerca de 195 kg ha⁻¹ de K, equivalentes a 230 kg ha⁻¹ de K₂O, são retirados dos ervais em uma colheita. Este valor é proporcionalmente maior conforme aumenta a produtividade do erval. Assim, tendo em vista que K é o segundo nutriente mais removido na colheita da erva-mate, torna-se importante o monitoramento de sua disponibilidade no solo, bem como a condição nutricional das plantas para a obtenção e manutenção de produtividades elevadas.

Tabela 7. Percentagem de ervais em cada faixa de interpretação dos resultados da análise de 197 amostras de solos, coletadas entre 2020 e 2021, em ervais localizados nos cinco polos ervateiros do RS, na profundidade de 0 a 20 cm

Parâmetro analisado	Alto	Médio	Baixo
	%		
P	40	10	50
K Grupo 2*	69	14	17
K Grupo 3*	81	13	6
MO	4	74	22
pH**	5	18	77
Ca	56	27	17
Mg	78	12	10
B	22	74	4
Zn	100	0	0
Cu	88	12	0
Mn	98	0	2
Sat bases	15	17	68
Sat Al	45	13	42

* Grupos de nível de exigência de disponibilidade de K no solo em que "Grupo 2" corresponde a culturas exigentes e "Grupo 3" a culturas pouco exigentes (CQFS-RS/SC, 2016). MO = matéria orgânica. ** Faixa de pH correspondente aos níveis alto (>6,0), médio (5,5 – 6,0) e baixo (<5,5). sat bases = saturação por bases da CTC (capacidade de troca de cátions) a pH 7,0. sat Al = saturação por alumínio da CTC efetiva. Interpretação das análises de solo conforme CQFS-RS/SC (2016) e CQFS-RS/SC (2004)

Na média das áreas amostradas, a análise da matéria orgânica (MO) apresentou um teor de 3,3%, classificado como médio (Tabela 6), sendo que 74% das amostras também foram classificadas dessa maneira, enquanto 22% apresentaram teor baixo e 4% das amostras tiveram teor alto (Tabela 7). A interpretação adotada por CQFS-RS/SC (2016) define como alto aquele solo com teor de MO acima de 5%. São

valores bastante incomuns nos solos do RS, ocorrendo em condições edafoclimáticas específicas, como em solos fortemente ácidos, solos hidromórficos (GALVÃO & VAHL, 1996) e solos de altitude (DICK et al., 2008), nos quais as condições químicas, de umidade, ou de temperatura permitem o acúmulo da MO. Tratando-se dos solos das regiões ervateiras do RS, os Neossolos litólicos, Cambissolos háplicos e Nitossolos

possuem grande representatividade, e são caracterizados por apresentarem teores de MO acima da média dos solos do RS.

A MO do solo está ligada diretamente à disponibilidade do N para as plantas a partir da sua mineralização pela microbiota. Considerando-se o teor médio de MO verificado nos solos dos ervais avaliados (3,3%), com uma taxa anual de 3% de mineralização do N orgânico do solo (BARRETO et al., 2010; AMADO & MIELNICZUK, 2000) e uma relação C/N da MO de 10/1 (ROBERTSON & GROFFMAN, 2015), pode-se prever uma disponibilização anual de cerca de 200 kg ha⁻¹ de N nesses solos. Este valor é uma aproximação, que pode variar de acordo com as condições ambientais, porém é uma estimativa interessante que auxilia a compreensão dos processos relacionados com a nutrição de N nos ervais.

Por outro lado, quando da colheita de erva-mate, estima-se que são exportados 18,8 g de N para cada kg de material colhido (WOLF, 2005). Ou seja, para a média de produtividade de 863 @ha⁻¹ são exportados cerca de 240 kg ha⁻¹ de N. Já para ervais de alta produtividade, a partir de 1.200 @ ha⁻¹, a taxa de exportação de N na colheita seria de 338 kg ha⁻¹. Nesse caso, portanto, haveria um déficit de cerca de 140 kg N ha⁻¹, os quais devem ser repostos por meio de emprego de fertilizantes e/ou pela introdução de espécies leguminosas no erval. Este valor de reposição é uma estimativa, pois não leva em consideração a eficiência na utilização do N, a qual pode ser maior ou menor, dependendo da forma com que ele é introduzido no sistema.

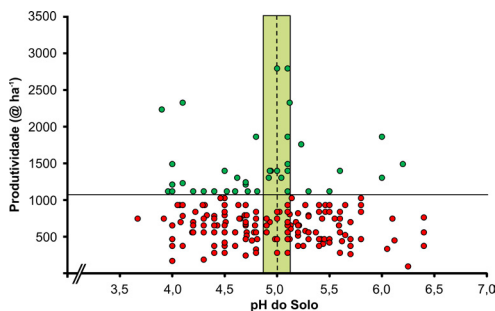
O valor médio do pH nas áreas amostradas na profundidade de 0 a 20 cm (Tabela 6) situou-se na faixa “baixo”, conforme CQFS-RS/SC (2004). Em termos percentuais, 77% das áreas apresentaram pH menor que 5,5 (baixo), enquanto 18 e 5% foram classificados como pH médio e alto, respectivamente (tabela 7). Estes resultados são similares aos obtidos por MAGRI et al. (2022), os quais observaram que 115 áreas de produção de erva-mate da América do

Sul apresentavam elevada acidez do solo. Alguns estudos demonstram que a erva-mate apresenta boa adaptação às condições de acidez. Por exemplo, BENEDETTI et al. (2017) observaram um efeito positivo da presença do Al³⁺ no crescimento de plantas de erva-mate. Apesar disso, é recomendado que o produtor realize a aplicação de calcário para fornecer cálcio e magnésio e aumentar a disponibilidade de outros nutrientes, principalmente o fósforo, cuja a disponibilidade é menor em condição de elevada acidez.

Assim como fizemos para a densidade de plantas, para estimar a faixa de pH mais adequada para o cultivo da erva-mate, utilizamos a ChM para relacionar os dados de produtividade obtidos nos ervais que participaram deste trabalho com os níveis de acidez do solo (Figura 13). Os resultados indicam um intervalo de pH entre 4,9 a 5,1 no qual as chances de serem observadas produtividades elevadas de erva-mate são maiores. Esta informação deve ser tratada apenas como uma referência, pois o solo do erval também deve ser manejado levando-se em consideração as demandas das plantas de cobertura de solo, as quais, em sua grande maioria, desenvolvem-se em condições de pH mais elevado.

O teor médio de Ca no solo nos ervais amostrados foi classificado como alto (CQFS-RS/SC, 2016) (Tabela 6), sendo que 56% das amostras de solo também foram enquadradas da mesma forma enquanto 27% como médio e apenas 17% das amostras apresentaram baixa disponibilidade de Ca (Tabela 7). Tendo em vista que, em geral, a cultura não exige correção de acidez do solo com a aplicação de calcário, poderia ser esperado que fosse observado um percentual maior de áreas com baixa disponibilidade de Ca. Ainda mais se levarmos em consideração que a exportação de Ca na colheita da erva pode ser bastante significativa. Conforme os dados de WOLF (2005), são exportados 4,56 g kg⁻¹ de Ca na colheita da erva-mate, entre folhas e ramos, de maneira que, para a produção média dos ervais (863 @ ha⁻¹), estima-se a exportação de cerca de 60 kg ha⁻¹ de Ca por colheita,

Figura 13. Relação entre a produtividade de erva-mate e o pH do solo dos ervais. Os pontos verdes e vermelhos representam as amostras de ervais com produtividade acima e abaixo de 1200 @ ha⁻¹, respectivamente. O retângulo delimita a faixa adequada de pH calculada pelo método da Chance Matemática. A linha tracejada representa o nível ótimo de suficiência.



quantia equivalente a cerca de 200 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico em cada colheita. Porém, como visto anteriormente (Figura 11) os dados obtidos junto aos produtores de erva-mate, no presente trabalho, indicam que 50% das áreas receberam a aplicação de calcário dolomítico nos últimos dois anos, o que, além de fornecer Ca e Mg para o solo, também propicia uma condição mais favorável para o cultivo de plantas de coberturas nas entrelinhas dos ervais.

Nos solos dos ervais amostrados, o valor médio de Mg foi de 2,19 cmol_c dm⁻³, valor classificado como alto (Tabela 6). Um total de 78% das amostras foi classificado da mesma forma, enquanto 12% apresentaram teor médio e apenas 10% apresentaram baixa disponibilidade do nutriente. Da mesma forma como discutido em relação ao Ca, o emprego de calcário dolomítico por grande parte dos produtores de erva-mate, além da disponibilidade natural do elemento, faz com que o Mg não seja um fator limitante ao desenvolvimento dos ervais.

Na média das amostras, o teor de B no solo é considerado médio conforme CQFS-RS/SC (2016) (Tabela 6). Em termos percentuais, a maioria das áreas situa-se nas faixas de teor médio e alto, 74 e 22% respectivamente, indicando uma boa disponibilidade do

micronutriente (Tabela 7). Com relação aos micronutrientes Zn e Cu, os teores médios nas áreas amostradas situaram-se na faixa alta. Os teores Cu foram classificados como altos em 88% dos ervais amostrados, sendo que 12% apresentaram disponibilidade média para o micronutriente, não sendo identificada nenhuma área onde o elemento apresentasse baixa disponibilidade no solo. No caso do Zn, 100% dos solos dos ervais apresentaram nível alto para o nutriente.

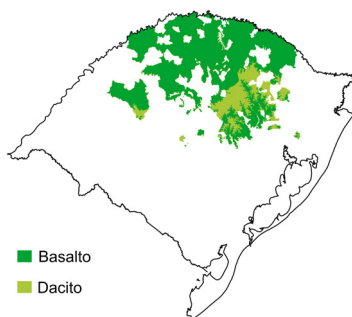
Quanto à disponibilidade de Mn, o teor médio do micronutriente nas áreas amostradas foi classificado como alto, sendo que em 98% das amostras de solo a disponibilidade foi classificada da mesma forma. Os elevados teores de Mn são esperados, tendo em vista a composição mineralógica dos solos que predominam os ervais no RS, originados de basaltos e dacitos (PROJETO RADAMBRASIL, 1986), e também em função da acidez alta, característica desses solos, o que aumenta a disponibilidade do elemento. Nossos resultados são similares aos obtidos por MAGRI et al. (2022), os quais encontraram teores médios de Mn variando de 104 a 267 mg dm⁻³ em solos basálticos cultivados com erva-mate nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná.

Em média, a saturação por bases da CTC a pH 7,0, que representa a proporção de nutrientes alcalinos (Ca, Mg e K) disponíveis para as plantas no solo, situou-se na faixa baixa, no limite para muito baixa (<45%), conforme CQFS-RS/SC (2004) (Tabela 6). Em termos de percentual dos ervais amostrados, 68% deles apresentaram CTC a pH 7,0 consideradas como baixa, enquanto 17 e 15% como média e alta, respectivamente (Tabela 7). Inversamente, a saturação por Al da CTC efetiva nos solos amostrados foi classificada como alta. Em termos percentuais, 45% das amostras de solo dos ervais apresentaram saturação por Al considerada alta, enquanto 13 e 42% média e baixa, respectivamente (CQFS-RS/SC, 2004). Porém, mesmo com a predominância de áreas de ervais com saturação por bases baixa, na maioria das áreas os teores de Ca, Mg e K foram altos, não ocorrendo limitação para o desenvolvimento da erva-mate.

No que diz respeito à gênese dos solos das regiões produtoras de erva-mate no RS, pode-se afirmar que os dois principais materiais de origem são os basaltos e os dacitos, rochas vulcânicas da Formação Serra Geral (Figura 14). Os dacitos têm sua ocorrência limitada às regiões das escarpas do planalto e às altitudes superiores a 600m, enquanto os basaltos ocupam as

áreas abaixo dessa altitude. Embora as duas rochas possuam origem vulcânica, são quimicamente distintas. Os dacitos são considerados rochas ácidas, isto é, sua composição apresenta mais de 66% de SiO_2 , enquanto os basaltos são classificados como básicos, contendo entre 45 e 52% de SiO_2 (TEIXEIRA et al., 2015). Na formação dos solos, essa diferença nas proporções de sílica afeta diretamente a textura dos solos formados, de modo que solos originados do basalto apresentam um percentual maior de argila em relação àqueles formados a partir de dacitos, os quais apresentam maior proporção de quartzo. Além da diferença textural, a origem geológica também influencia o desenvolvimento do perfil do solo. O basalto, por sua composição básica, é mais frágil ao intemperismo, uma vez que o quartzo confere dureza e resistência à rocha. Assim, em condições de relevo favoráveis, serão formados solos mais profundos (Latossolos, Nitossolos e Chernossolos) e mais bem drenados em relação àqueles formados a partir dos dacitos (Cambissolos). Essas diferenças ajudam a explicar, por exemplo, a ocorrência, lado a lado, de classes de solo bastante distintas, como se observa com Nitossolos e Cambissolos na região de Ilópolis. Ou seja, a ocorrência dessas classes de solo é delimitada pelo contato

Figura 14. Ocorrência de basaltos e de dacitos nos polos ervateiros do Rio Grande do Sul. Adaptado de Ibramate (2018) e de CPRM (2006).



entre duas rochas com composições mineralógicas e químicas distintas.

Assim, as amostras de solo coletadas nos ervais que participaram do presente estudo foram classificadas como oriundas de solos originados de basaltos e de dacitos. A classificação foi possível por meio da aquisição das coordenadas geográficas dos ervais e da plotagem das coordenadas no mapa geológico do RS (CPRM, 2006), com a posterior interpretação. Além disso, é importante salientar que os produtores de erva-mate possuem um relevante conhecimento tradicional que lhes permite reconhecer o tipo de solo a partir das características locais. No questionário aplicado aos produtores, quando da coleta das amostras, foi indagado se a erva era produzida em “Terra Vermelha” ou em “Terra Branca”.

Essas duas classes de solo, estabelecidas de forma bastante pertinente pelos próprios produtores, distinguem, na prática e com bastante exatidão, os solos originados

de basalto (Terra Vermelha) daqueles originados dos dacitos (Terra Branca). Além do aspecto textural, o fator que mais marca a origem pedogenética desses solos é a presença de óxidos de ferro. Desse modo, Latossolos, Nitossolos, Chernossolos, Neossolos Litólicos, originários de basaltos, são marcados pela coloração vermelha bastante acentuada nos respectivos horizontes B, enquanto Cambissolos e Neossolos Litólicos, originados de dacitos, apresentam uma coloração que tende ao cinza e ao amarelado.

A Figura 15 apresenta imagens de solos do município de Ilópolis, (polo Ervateiro do Alto Taquari). Os solos são de áreas próximas, porém com uma diferença de 400 m de altitude, área que delimita o contato entre o dacito (área mais elevada) e o basalto. No caso, observa-se, de forma bastante didática, um Nitossolo originado do basalto (Terra Vermelha) e um Neossolo Litólico originado de dacito (Terra Branca).

Figura 15. Visão geral de solos originados dos dois principais materiais de origem das regiões ervateiras do RS. (a) Nitossolo originado de basalto e (b) Neossolo Litólico originado de dacito.



Conforme os resultados das análises de solo, pode-se constatar que o material de origem influencia significativamente a composição química dos solos dos ervais (Tabela 8), embora a disponibilidade de nutrientes também seja influenciada pela aplicação de adubos e corretivos de solo. O parâmetro de solo mais estável e, conseqüentemente, menos afetado pelas práticas de manejo, ao longo dos anos, é a textura do solo (PAZ-FERREIRO et al., 2010). Nesse sentido, conforme o esperado, nota-se que os solos originados do basalto possuem, em média, 45% de argila, um teor significativamente maior do que o daqueles formados a partir dos dacitos (27%). O mesmo ocorre com relação aos teores de Mn e Cu, elementos mais abundantes nos basaltos (PROJETO RADAMBRAZIL, 1986) e significativamente maiores nos solos deles originados.

Por outro lado, foi observado um teor médio de P disponível significativamente maior nos solos originados de dacitos, o que não seria esperado, uma vez que ambas as rochas possuem baixas concentrações do nutriente em sua mineralogia (GRECCO, 2018). Além disso, não foi observada diferença entre os teores de K disponível, apesar de os dacitos possuírem teores de K bastante superiores aos do basalto (BERGMANN et al., 2021). Provavelmente esses resultados sejam consequência do manejo da fertilidade do solo, fazendo

com que a disponibilidade de P, K, Ca e Mg seja ampliada por meio da aplicação de fertilizantes e corretivos de solo.

Também é possível observar que existe uma diferença significativa nos teores de MO entre os solos originados entre os dois materiais de origem. Apesar de possuírem uma textura média menos argilosa do que a dos solos formados a partir de basalto, os solos originados de dacitos apresentam um teor médio de MO mais elevado. Além de ocorrerem em altitudes mais elevadas, os solos formados a partir dessas rochas ácidas apresentam perfil menos desenvolvido, com maior retenção de umidade pela drenagem deficiente, possibilitando o acúmulo de MO no solo em relação aos solos originados do basalto, em uma mesma condição de clima.

Os ervais cultivados em áreas com solos originados por diferentes materiais de origem também apresentam diferenças significativas quanto à composição nutricional (Tabela 9). Apesar da diferença significativa nos teores de MO entre os solos formados pelos diferentes materiais de origem, não foi observada diferença nos teores de N no tecido foliar da erva-mate cultivada em solos formados a partir de basalto e dacitos. Este fato pode estar ligado ao fornecimento de N por meio de adubações.

Tabela 8. Parâmetros físico-químicos médios dos solos dos ervais amostrados de acordo com o material de origem dos solos.

	P	K	Argila	MO	Al	Ca	Mg
	mg/dm ³		%	cmol _c /dm ³			
Dacito	22	156	27	3,5	2,9	5,1	2,0
Basalto	10	165	45	3,0	1,4	6,3	2,4
p	<0,05	ns	<0,05	<0,05	<0,05	ns	ns

	pH	SMP	B	Zn	Cu	Mn	Fe
	(mg/dm ³)						
Dacito	4,7	5,2	0,2	3,9	1,2	62	0,27
Basalto	5,1	5,6	0,3	5,7	4,0	131	0,26
p	<0,05	<0,05	ns	<0,05	<0,05	<0,05	ns

* ns = não significativo; <0,05 = significativo ao nível de probabilidade de 95%

DIAGNÓSTICOS DA PRODUÇÃO DE ERVA-MATE NO RIO GRANDE DO SUL

De forma semelhante, mesmo havendo em média, uma maior disponibilidade de P nos solos originados de dacitos, provavelmente em função de questões ligadas ao manejo da fertilidade do solo,

não foi observada diferença significativa nos teores do nutriente no tecido foliar, o que provavelmente está relacionado com a baixa demanda da erva-mate por este macronutriente.

Tabela 9. Teores médios de macro e micronutrientes em folhas de erva-mate coletadas em ervais cultivados em solos originados em diferentes materiais de origem.

	N	P	K (%)	Ca	Mg	Zn	Cu	Mn (mg.kg ⁻¹)	Fe (mg.kg ⁻¹)	S	B
Dacito	2,13	0,14	1,51	0,81	0,65	65	13	1373	149	0,19	57
Basalto	2,14	0,15	1,32	0,82	0,74	122	14	2113	154	0,20	68
p	ns	ns	<0,05	ns	<0,05	<0,05	ns	<0,05	<0,05	ns	<0,05

ns = não significativo; <0,05 = significativo ao nível de probabilidade de 95%







Estimativa das faixas de suficiência nutricional para diagnose foliar da erva-mate

Conforme mencionado anteriormente, para fins de separação dos grupos de produtividade, foram estabelecidos os valores maiores e iguais a 1.200 @ha⁻¹ como ervais de alta produtividade, enquanto os que apresentam produtividade menor foram considerados como de baixa produtividade. Assim, do total dos 197 ervais avaliados, 41 (21%) foram classificados como de alta produtividade e 156 (79%) como de baixa produtividade. Como também mencionado anteriormente, a produtividade média observada entre todas as amostras ficou em 863 @ha⁻¹, valor um pouco acima do considerado como a média estadual, que é cerca de 650 @ha⁻¹ (FUNDOMATE, 2018).

A partir do número total de ervais que fizeram parte do presente estudo, foi estimado o número de quatorze classes possíveis (Apêndices), para as quais foram determinadas as faixas de teores adequados para cada um dos nutrientes avaliados (Tabela 10).

Em relação aos teores de N no tecido vegetal, o método da ChM estimou uma

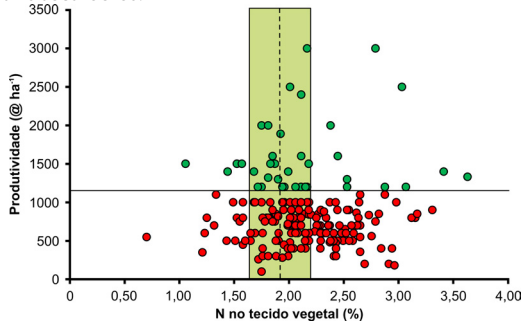
faixa de suficiência entre 1,75 a 2,17%, sendo que o nível ótimo, determinado pela mediana destes valores, foi de 1,96% (Figura 16). Dentre as amostras dos 197 ervais avaliados, 42% apresentavam níveis adequados de N, dentro da faixa de suficiência estimada pela ChM, enquanto 42% apresentavam níveis acima e 16% abaixo da faixa de suficiência. Em um estudo que avaliou a adubação nitrogenada de ervais no estado do Paraná, SANTIN et al. (2019) observaram que teores foliares de N entre 3,3% e 3,7% poderiam estar indicando plantas com nutrição adequada para o nutriente. No entanto nos tratamentos avaliados, inclusive na testemunha que não recebeu adubação nitrogenada, não foram observados teores abaixo de 2,5% de N. Por outro lado, em outro estudo também realizado no PR, OLIVA et al. (2014), avaliando a composição nutricional de diferentes progênies de erva-mate, identificaram teores foliares de N que variaram de 1,8 a 2,0%, estando nesse caso, dentro da faixa de suficiência estimada pelo método da ChM.

Tabela 10. Faixas de suficiência foliar e nível ótimo determinado pelo método da Chance Matemática para Ervais do estado do Rio Grande do Sul.

LI= limite inferior; LS= limite superior.

Nutriente	LI	LS	Nível ótimo
N (%)	1,75	2,17	1,96
P (%)	0,10	0,16	0,13
K (%)	1,24	1,54	1,39
Ca (%)	0,75	1,02	0,89
Mg (%)	0,56	0,86	0,71
S (%)	0,10	0,16	0,13
B (mg.kg⁻¹)	47	74	61
Fe (mg.kg⁻¹)	63	95	79
Cu (mg.kg⁻¹)	8	16	13
Mn (mg.kg⁻¹)	519	2919	1719
Zn (mg.kg⁻¹)	16	136	76

Figura 16. Relação entre produtividade de erva-mate e teores foliares de N. Os pontos verdes e vermelhos representam as amostras de ervais com produtividade acima e abaixo de 1200 @ ha⁻¹, respectivamente. O retângulo delimita a faixa de suficiência de N calculada pelo método da Chance Matemática. A linha tracejada representa o nível ótimo de suficiência.



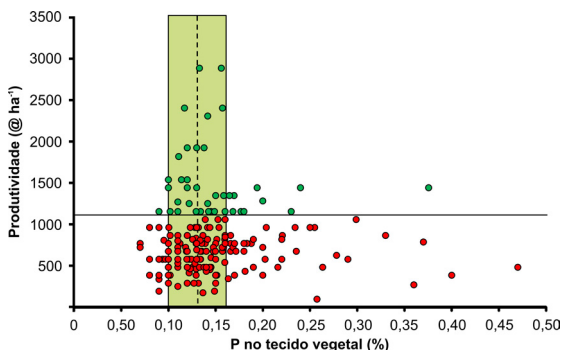
De modo geral, o teor de N no tecido de erva-mate está associado com a matéria orgânica do solo. Em estudo realizado por MAGRI et al. (2022), observaram-se correlações positivas da MO do solo com o teor de N no tecido de erva em solos com elevados teores de argila originados de dacito e rochas basálticas. Nesse contexto, uma estratégia que o produtor de erva-mate poderia utilizar para manter a disponibilidade de N em níveis adequados seria o uso de plantas de cobertura. Esse tipo de estratégia foi avaliada em estudo realizado por PICCOLO et al. (2004), os quais observaram que o uso de capim-elefante como planta de cobertura foi eficiente para melhorar a ciclagem de nutrientes em cultivos de erva-mate em solos degradados. Por outro lado, conforme discutido anteriormente, o N é o nutriente exportado em maior quantidade na colheita da erva-mate, o que faz com que sejam necessárias práticas de manejo dos ervais que favoreçam a manutenção dos teores de MO do solo, bem como a reposição do N do solo por meio da adubações e do cultivo de espécies leguminosas.

Quanto ao P, a faixa de suficiência determinada pela ChM situou-se entre 0,10 e 0,16%, com o nível ótimo para o nutriente de 0,13% (Figura 17). Aplicando-se a faixa

de suficiência para os ervais amostrados, observou-se que 59% das amostras ficaram situadas na faixa adequada para o teor foliar de P, enquanto 23 e 18% das amostras apresentaram teores acima e abaixo do adequado, respectivamente. Esta informação indica que, ao contrário do que poderia se imaginar, levando-se em conta que 50% dos solos dos ervais amostrados apresentaram níveis baixos de P, o nutriente não parece ser uma limitação importante da produtividade dos ervais.

De uma maneira geral, nossos resultados indicam que a erva-mate apresenta uma baixa exigência por P, o que é corroborado por trabalho de REISSMANN et al. (1999). Os autores concluíram, a partir dos baixos teores foliares de P observados em ervais, os quais variaram entre 0,05 a 0,32%, que esse comportamento está relacionado com a capacidade adaptativa de *I. paraguayensis* para desenvolver-se em solos ácidos, característicos das regiões de ocorrência natural da espécie. Estes solos apresentam elevados teores de Al e Mn, em contrapartida com a baixa disponibilidade de P. Também corroborando nossos resultados, SANTIN et al. (2017) demonstraram que plantas de erva-mate com teores foliares de P entre 0,12 a 0,16% possuem boa condição nutricional.

Figura 17. Relação entre produtividade de erva-mate e teores foliares de P. Os pontos verdes e vermelhos representam as amostras de ervais com produtividade acima e abaixo de 1200 @ ha⁻¹, respectivamente. O retângulo delimita a faixa de suficiência de P calculada pelo método da Chance Matemática. A linha tracejada representa o nível ótimo de suficiência.



Por outro lado, em estudo realizado por TOPPEL et al. (2018), foi observada uma variação de 0,04 a 0,10% no teor foliar de P em erva-mate cultivada na região Sul do estado do Paraná, em áreas sem histórico de fertilização e calagem. Dessa forma, aplicando-se a faixa de suficiência estimada pela ChM, observa-se que parte dos valores obtidos por aqueles autores apresentaram deficiência de P. E quando aplicamos a faixa de suficiência aos dados obtidos por MAGRI et al. (2022), que encontraram teores foliares de P entre 0,10% a 0,14%, constatamos que estão dentro da faixa de suficiência, reforçando a ideia de que o P não é usualmente limitante para a produtividade da espécie. Da mesma forma, BISSO & SALET (2000), avaliaram os teores e a exportação de macronutrientes em ervais, observando que a concentração de P no tecido não interferiu na produtividade em áreas com diferentes níveis de emprego de tecnologia.

De certo modo, os dados relacionados aos teores de P no solo e no tecido vegetal da erva-mate parecem apresentar uma contradição entre a disponibilidade do nutriente no solo e a sua suficiência

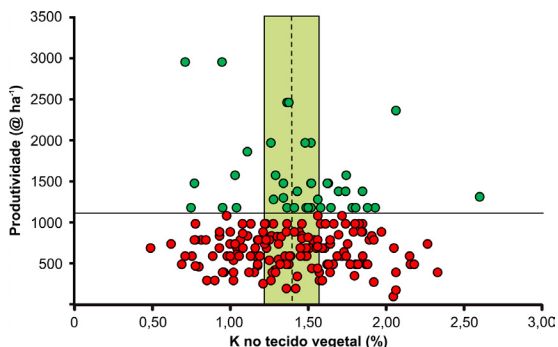
nutricional no tecido. Isto é, como foi discutido anteriormente, encontram-se produções elevadas de erva-mate mesmo em solos com teores de P considerados baixos. Ao mesmo tempo, a faixa de suficiência nutricional do elemento indica que teores foliares baixos são suficientes para a manutenção da produtividade. Nesse contexto, parece fazer-se necessária uma alteração na recomendação oficial para o nível crítico de P no solo para a cultura da erva-mate, tendo em vista sua capacidade adaptativa às condições edafoclimáticas da sua região de ocorrência.

O método da ChM estimou a faixa de suficiência nutricional para K entre 1,24 e 1,54%, com teor ótimo no tecido de 1,39% (Figura 18). Com isso, 30% dos ervais amostrados apresentam níveis adequados do nutriente, enquanto 36% estão com teores acima do limite superior da faixa de suficiência e 34% apresentam deficiência de K. Esse resultado converge com a interpretação dos teores de K no solo com a erva-mate sendo considerada uma cultura exigente em K (Grupo 2), na qual 31% dos ervais apresentam disponibilidade média ou baixa para o nutriente (Tabela 7).

Os primeiros estudos relacionados à determinação de faixa de suficiência para K em áreas de erva-mate foram realizados por REISSMANN et al. (1983), os quais estimaram que os teores foliares adequados de K estariam entre 1,4 e 1,8%. Em trabalho que avaliou a composição nutricional de diferentes procedências de erva-mate, OLIVA et al. (2014) observaram uma variação dos teores foliares de K entre 1,0 e 1,4% em plantas cultivadas em solo com 156 mg dm^{-3} de K. No mesmo sentido, em trabalho que avaliou o efeito da fertilização potássica em erva-mate,

SANTIN et al. (2014b) identificaram que o teor foliar de 1,6% foi suficiente para a obtenção de produtividades elevadas. Ou seja, um valor muito próximo ao limite superior da faixa de suficiência estimado pela ChM no presente trabalho. Como mencionado anteriormente, a exportação de K na colheita de erva alcança valores acima de $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$, evidenciando a importância do monitoramento da disponibilidade do nutriente no solo para o manejo da fertilidade do solo e das condições nutricionais dos ervais.

Figura 18. Relação entre produtividade de erva-mate e teores foliares de K. Os pontos verdes e vermelhos representam as amostras de ervais com produtividade acima e abaixo de 1200 @ ha^{-1} , respectivamente. O retângulo delimita a faixa de suficiência de Ca calculado pelo método da Chance Matemática. A linha tracejada representa o nível ótimo de suficiência.

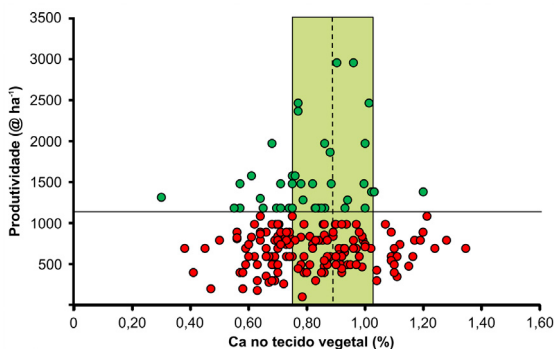


No que se refere ao Ca, a faixa de suficiência foliar foi estimada pela ChM entre 0,75 a 1,02 % do nutriente no tecido, com o teor ótimo em 0,89% (Figura 19). Com isso, 48% das amostras avaliadas neste trabalho apresentaram níveis adequados de Ca no tecido vegetal, enquanto 12 e 40% apresentaram teores acima e abaixo, respectivamente.

Os valores de Ca no tecido foliar que obtivemos neste trabalho estão próximos dos dados encontrados na literatura. Em

estudo realizado por OLIVA et al. (2014), os autores observaram teores foliares médios de Ca que variaram de 0,78 a 1,1% em progênies de erva-mate. De forma semelhante TOPPEL et al. (2018) observaram teores entre 0,58 a 0,99%, o que, segundo os autores, sugere que a erva-mate possui uma alta capacidade de absorção de Ca. Em estudo recente realizado por MAGRI et al. (2022) os teores de Ca variaram de 0,57 a 0,86%, sendo os maiores valores obtidos nas regiões com maior temperatura média anual.

Figura 19. Relação entre produtividade de erva-mate e teores foliares de Ca. Os pontos verdes e vermelhos representam as amostras de ervais com produtividade acima e abaixo de 1200 @ ha⁻¹, respectivamente. O retângulo delimita a faixa de suficiência de Ca calculado pelo método da Chance Matemática. A linha tracejada representa o nível ótimo de suficiência.



Nos últimos anos, os efeitos da calagem na produtividade da erva-mate têm sido objeto de estudo, ainda sem um consenso em razão de resultados discordantes. REISSMANN & CARNEIRO (2004) notaram um efeito negativo no crescimento das plantas após oito anos da calagem. Além disso, observaram que os teores de Ca foram constantes, indicando, novamente, o comportamento de espécie calcífuga da erva-mate, como sugerido no trabalho de REISSMANN et al. (1997). Em outro trabalho, avaliando a resposta de plantas jovens de erva-mate a diferentes doses de calcário em solo com baixa disponibilidade de Ca (0,3 cmol_c dm⁻³), SANTIN et al. (2013b) verificaram que a erva-mate apresentou tolerância à acidez do solo bem como exigência média por Ca e Mg. Os autores concluem que doses de calcário que elevem o teor de Ca²⁺ para valores $\geq 6,0$ cmol_c dm⁻³ podem reduzir o desenvolvimento de plantas jovens de erva-mate. Por outro lado, em estudo realizado por SANTIN et al. (2014a), os autores observaram que a calagem proporcionou aumento da produtividade da erva-mate, entre 21 e 27%, em três áreas com diferentes teores de Ca (0,36, 0,90 e 5,6 cmol_c dm⁻³), em ensaios realizados no PR e RS.

Conforme mencionado anteriormente, 17% das amostras de solo possuem teores baixos de Ca disponível. Os solos em que a erva-mate possui ocorrência natural e também onde é cultivada, são tipicamente ácidos. Porém, em grande parte, são originados de rochas básicas, sendo o Ca parte dos minerais acessórios, o que acaba por propiciar a disponibilização natural do nutriente. Além disso, metade dos ervais estudados receberam, nos últimos dois anos, aplicação de calcário dolomítico com a finalidade de repor o Ca e o Mg exportados na colheita da erva-mate. Mesmo assim, 40% dos ervais apresentaram plantas com teor de Ca abaixo da faixa de suficiência.

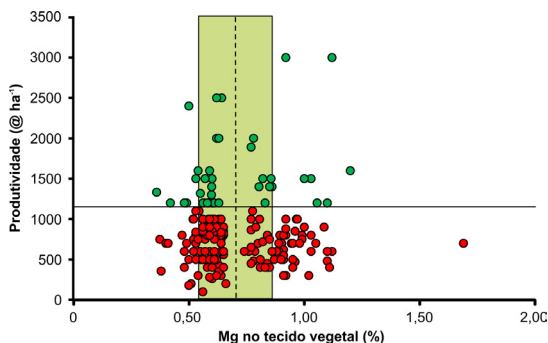
Assim, os resultados demonstram que a nutrição por Ca nos ervais pode estar contribuindo para a baixa produtividade média regional, uma vez que 40% das áreas foram deficientes para o nutriente. O resultado alerta para a importância que o manejo do Ca representa para a nutrição da erva-mate. Nesse sentido, SANTIN et al. (2014a) sugerem a revisão dos valores

referenciais para o teor de Ca no solo para a erva-mate. Por outro lado, também é necessária a preocupação com os riscos de calagem excessiva, uma vez que a elevação do pH do solo também pode prejudicar o desenvolvimento dos ervais. Portanto é fundamental que a tomada de decisão para a aplicação de corretivos e fertilizantes seja sempre embasada na análise química do solo e no diagnóstico foliar, até mesmo para considerar o emprego de fontes de

Ca que não alteram o pH do solo, como o gesso agrícola.

A faixa de suficiência nutricional estimada para o Mg no tecido foliar ficou entre 0,56 a 0,86%, enquanto que o nível ótimo do nutriente foi calculado em 0,71% (Figura 20). Em relação aos 197 ervais avaliados, 52% das amostras se encontraram na faixa considerada adequada, enquanto 25% apresentaram níveis acima e 23% abaixo da faixa de suficiência.

Figura 20. Relação entre produtividade de erva-mate e teores foliares de Mg. Os pontos verdes e vermelhos representam as amostras de ervais com produtividade acima e abaixo de 1200 @ ha⁻¹, respectivamente. O retângulo delimita a faixa de suficiência de Mg calculado pelo método da Chance Matemática. A linha tracejada representa o nível ótimo de suficiência.



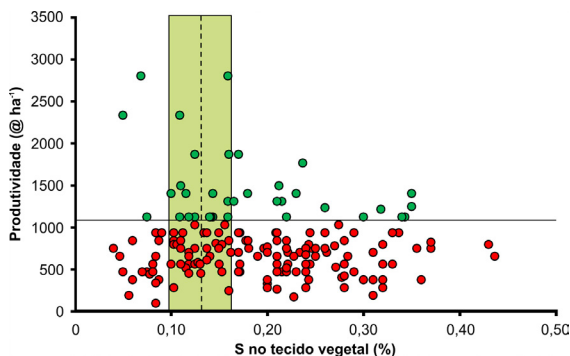
De forma semelhante ao verificado com o Ca, a nutrição dos ervais por Mg está adequada na grande maioria das áreas avaliadas. Entretanto, mesmo com aplicação de calcário dolomítico em parte representativa dos ervais, uma parcela bastante expressiva das áreas apresenta deficiência de Mg no tecido vegetal (23%). Portanto, há um contraste entre as proporções de solos com baixa disponibilidade de Mg (9%) e os ervais com deficiência nutricional do nutriente (23%), o que pode indicar alguma situação de desequilíbrio nutricional. Por exemplo, a elevada disponibilidade de K no solo

pode estar interferindo na absorção de Mg pelas plantas. Também os altos teores de Mn²⁺ e Al³⁺, em decorrência da elevada acidez dos solos, podem competir com o Mg para serem absorvidos pelas raízes (VITTI et al, 2018). Assim, apesar do Mg não parecer estar limitando a produtividade dos ervais no RS, o monitoramento de sua disponibilidade no solo e principalmente de seus teores foliares deve ser levado em consideração no manejo da fertilidade do solo e da nutrição dos ervais, observando-se sempre a adequada reposição do nutriente que é exportado pelas colheitas.

Os teores de S que delimitaram a faixa de suficiência nutricional para a erva-mate foram 0,10 e 0,16%, enquanto o nível ótimo ficou estabelecido em 0,13% (Figura 21). Assim, dentro das amostras de tecido avaliadas no trabalho, 28% dos ervais apresentam níveis adequados para o nutriente, enquanto 56 e 16% apresentam níveis acima e abaixo do adequado, respectivamente. A maior parte do S disponível para as plantas provém da mineralização da matéria orgânica

do solo, e, portanto, o fato de a grande maioria dos ervais (86%) avaliados nesse trabalho estarem enquadrados nos níveis “adequado” e “acima” de S no tecido vegetal pode ser explicado pelos altos teores de MO do solo, característica dos solos das regiões ervateiras do RS (STRECK et al., 2002). O teor médio de MO dos solos amostrados é de 3,3 %, considerado como médio pela referência oficial (CQFSRS/SC, 2016), porém bastante acima da média dos solos do RS de forma geral (ESCOSTEGUY et al., 2007).

Figura 21. Relação entre produtividade de erva-mate e teores foliares de S. Os pontos verdes e vermelhos representam as amostras de ervais com produtividade acima e abaixo de 1200 @ ha⁻¹, respectivamente. O retângulo delimita a faixa de suficiência de S calculado pelo método da Chance Matemática. A linha tracejada representa o nível ótimo de suficiência.



Ao compararmos a faixa de suficiência com dados da literatura, observamos que os teores de S estão coerentes. Em estudo realizado por MOTTA et al. (2020), em 30 ervais nativos, o teor de S variou de 0,16 a 0,21%. Já em estudo realizado por CLEMENTE (2021), avaliando a aplicação de doses de S ao longo de quatro safras de erva-mate, observou-se que a aplicação das maiores doses de S resultou em aumento de produtividade, com teor médio de 0,09%. O autor constatou que, nas fases de plantio/pós-plantio, formação de copa 1, formação de copa 2 e de produção, as doses de S que proporcionaram a maior produtividade foram de 1,2; 3,7 e 7,9 g planta⁻¹ e 16,4 kg

ha⁻¹, respectivamente. Portanto, embora o S seja um elemento pouco estudado na cultura, há evidências de que sua adição ao solo pode melhorar o crescimento da erva-mate.

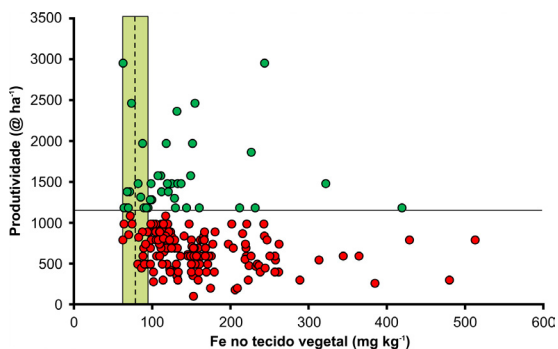
Em relação à faixa de suficiência para o Fe, os valores ficaram situados entre 63 e 95 mg kg⁻¹, com o nível ótimo em 79 mg kg⁻¹, conforme o método da ChM (Figura 22). Assim, observa-se que 15% dos ervais avaliados no presente estudo estão dentro do intervalo, sendo que 75% apresentam teores de Fe acima do estipulado, e, portanto, não foram verificados ervais que apresentassem deficiência do micronutriente. No presente

trabalho foram observados teores foliares de Fe em erva-mate que variaram de 63 a 513 mg kg⁻¹, dados que se assemelham ao obtidos por MAGRI et al. (2022) (58 a 615 mg kg⁻¹) em estudo que avaliou os teores de macro e micronutrientes em ervais de diferentes estados brasileiros, além do Paraguai e da Argentina.

De um modo geral, a deficiência de Fe não é comum em solos brasileiros, ocorrendo em situações específicas, como em solos que receberam calagem muito elevada

ou aplicação excessiva de P (MISSIO & NICOLOSO, 2005; SILVA, 2009). Esse não é o caso dos solos em que a erva-mate é cultivada no RS, corroborando os dados do presente trabalho, no qual não foram observados ervais com produtividade limitada por deficiência de Fe. Por outro lado, a fitotoxidez causada pelo excesso de Fe ocorre somente em solos mal drenados sujeitos a longos períodos de alagamento (ZAHRA et al., 2021), sendo um problema mais relevante apenas em lavouras de arroz irrigado (CQFSRS/SC, 2016).

Figura 22. Relação entre produtividade de erva-mate e teores foliares de Fe. Os pontos verdes e vermelhos representam as amostras de ervais com produtividade acima e abaixo de 1200 @ ha⁻¹, respectivamente. O retângulo delimita a faixa de suficiência de Fe calculado pelo método da Chance Matemática. A linha tracejada representa o nível ótimo de suficiência

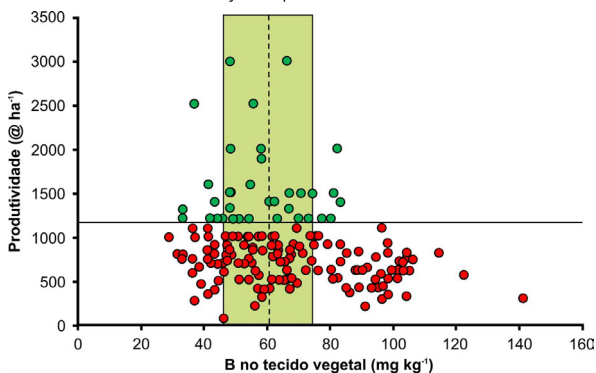


Já para o B, a faixa de suficiência nutricional foi estimada entre os valores de 47 a 74 mg kg⁻¹, enquanto o nível ótimo ficou em 61 mg kg⁻¹, conforme o método da ChM (Figura 23). Observando-se a distribuição dos teores de B das amostras foliares dos ervais avaliados, constata-se que 49% das amostras estão com nível adequado do nutriente, enquanto 31 e 20% estão acima e abaixo da faixa adequada, respectivamente.

A média do teor B disponível nos solos dos ervais amostrados foi de 0,2 mg dm⁻³, teor interpretado como médio pela recomendação oficial para o RS (CQFSRS/SC, 2016). O B pode ser absorvido pelas plantas por diferentes

mecanismos de absorção e os níveis foliares do nutriente podem, ao invés de estarem relacionados com a produtividade, indicar a ocorrência de consumo de luxo. Nesse sentido, outro fator que pode contribuir para a absorção do micronutriente é o fato de que, diferente de outros micronutrientes, o B é mais disponível em solos com acidez mais elevada (BARBOSA et al., 2013), o que é característico nos ervais do RS. Comparando-se a erva-mate com outras espécies florestais, como o eucalipto, o qual possui o limite superior de teor de B na faixa de suficiência em 25 mg kg⁻¹, constata-se a sua capacidade de acumular B no tecido.

Figura 23. Relação entre produtividade de erva-mate e teores foliares de B. Os pontos verdes e vermelhos representam as amostras de ervais com produtividade acima e abaixo de 1200 @ ha⁻¹, respectivamente. O retângulo delimita a faixa de suficiência de B calculado pelo método da Chance Matemática. A linha tracejada representa o nível ótimo de suficiência.

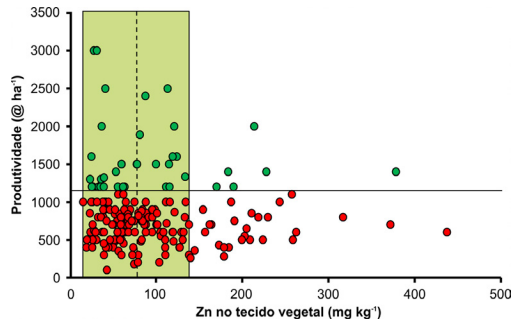


Quanto aos teores de Zinco, a faixa de suficiência nutricional foi estimada entre 16 e 136 mg kg⁻¹, com o teor ótimo de 76 mg kg⁻¹ (Figura 24). Do total das áreas amostradas, 82% foram classificadas como tendo teores adequados de Zn no tecido vegetal e 18% com teores acima do adequado, não sendo observadas amostras com teores baixos do micronutriente.

Esses resultados indicam que não existe limitação de produtividade relacionada à nutrição com Zn, o que pode estar relacionado com a disponibilidade do micronutriente no solo. As análises de solo dos ervais amostrados apresentam uma média de 4,4 mg dm⁻³ de Zn disponível no solo, teor classificado como alto. Mais do que isso, 100% das amostras de solo também foram enquadradas na classe alta de disponibilidade de Zn. Nesse contexto, OLIVA et al. (2014) observaram teor médio de Zn no tecido foliar de erva-mate de 15,9 mg kg⁻¹ em diferentes progênies de erva-mate, valor

semelhante ao limite inferior da faixa de suficiência que estimamos pela ChM. Naquele estudo, o solo possuía 0,60 mg kg⁻¹ Zn, mais de sete vezes menos do que o teor médio das nossas amostras. Por sua vez, MAGRI et al. (2022) avaliando a composição nutricional de amostras de folhas de erva-mate oriundas dos estados da região Sul do Brasil, além do estado do MS, Argentina e Paraguai, observaram uma variação de 7,5 a 146,8 mg kg⁻¹ nos teores de Zn. É interessante ressaltar que em nosso estudo a variação foi de 16 a 438 mg kg⁻¹ Zn, bastante superior aos trabalhos citados. Portanto, conclui-se que existe uma associação direta entre a disponibilidade de Zn no solo e os seus teores no tecido foliar da erva-mate. E os solos onde a erva é cultivada no RS são caracterizados pela elevada acidez, condição que faz com que ocorra uma maior disponibilidade de micronutrientes como Zn, Cu, Mn e Fe (DECHEN et al., 2018).

Figura 24. Relação entre produtividade de erva-mate e teores foliares de Zn. Os pontos verdes e vermelhos representam as amostras de ervais com produtividade acima e abaixo de 1200 @ ha⁻¹, respectivamente. O retângulo delimita a faixa de suficiência de Zn calculado pelo método da Chance Matemática. A linha tracejada representa o nível ótimo de suficiência.



A faixa de suficiência para o Cu foi estimada entre 8 e 16 mg kg⁻¹, com o teor ótimo estabelecido em 12 mg kg⁻¹ (Figura 25). Os teores do nutriente no tecido foliar apresentaram níveis adequados em 79% dos ervais amostrados, enquanto que 5% apresentam teores abaixo e 16% acima do adequado. O fato de que a maior parte dos ervais amostrados apresentou

nível adequado de Cu tem relação com a sua disponibilidade no solo. O teor médio de Cu nos solos dos ervais amostrados foi de 2,6 mg dm⁻³, considerado alto (>0,4 mg dm⁻³) de acordo com a classificação oficial (CQFSRS/SC, 2016). Além disso, conforme exposto anteriormente, 83% dos solos dos ervais apresentaram nível alto de disponibilidade do nutriente.

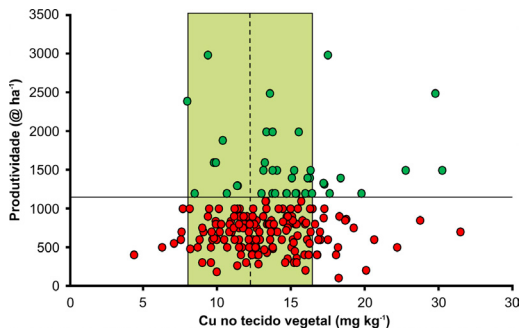


Figura 25. Relação entre produtividade de erva-mate e teores foliares de Cu. Os pontos verdes e vermelhos representam as amostras de ervais com produtividade acima e abaixo de 1200 @ ha⁻¹, respectivamente. O retângulo delimita a faixa de suficiência de Cu calculado pelo método da Chance Matemática. A linha tracejada representa o nível ótimo de suficiência.

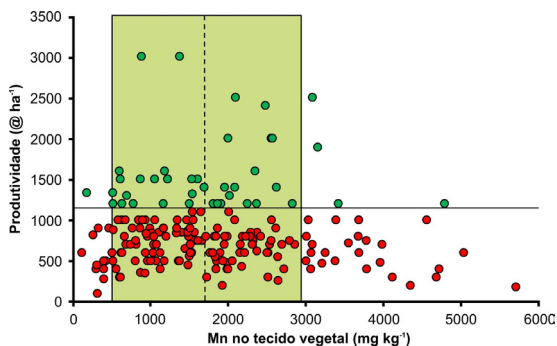
Resultados similares foram obtidos por MAGRI et al. (2022), os quais encontraram uma variação de 5,9 a 20,3 mg kg⁻¹ Cu em amostras foliares de erva-mate coletadas em 115 ervais localizados no Brasil, Argentina e Paraguai. Os autores associam essa variação à composição geológica que origina os solos das áreas de cultivo de erva-mate. No caso do RS, destacam-se o basalto (rocha básica) e os dacitos (rochas ácidas). Em outro trabalho realizado pelo mesmo grupo (MAGRI et al, 2020), os autores encontraram uma variação nos teores de Cu em folhas de erva-mate entre 7,3 a 14 mg kg⁻¹ em amostras oriundas dos estados do RS, SC e PR. Ou seja, valores bastante semelhantes à faixa de suficiência nutricional obtida pela ChM no presente trabalho. Por sua vez, ROSSA et al. (2015), em trabalho que avaliava diferentes técnicas de análise de nutrientes em folhas erva-mate, identificaram teores foliares de Cu que variaram entre 1,0 e 44 mg kg⁻¹ em amostras colhidas em parcelas experimentais em Guarapuava, PR, indicando uma elevada variabilidade dos teores do micronutriente no tecido foliar.

No que diz respeito aos teores foliares de Mn, a faixa de suficiência foi estimada entre 519 e 2.919 mg kg⁻¹, enquanto o nível ótimo foi estabelecido em 1.719 mg kg⁻¹ (Figura

26). Estes valores podem ser considerados bastante elevados, se comparados com outras espécies florestais, como o eucalipto (400 e 600 mg kg⁻¹), ou com frutíferas, como a laranjeira (55 e 100 mg kg⁻¹) (CQFSRS/SC, 2016). O Mn pode ser absorvido pelas raízes dos vegetais de forma passiva e ativa na sua forma solúvel Mn²⁺, havendo uma relação direta entre a sua disponibilidade no solo e a concentração no tecido da planta (DECHEN et al., 2018), sendo um micronutriente importante na fotossíntese, mas que em excesso pode levar à toxidez e, consequentemente, à redução da produtividade.

As altas concentrações de Mn no tecido vegetal de erva-mate são esperadas, tendo em vista o elevado teor médio de Mn observado nos solos dos ervais que fizeram parte deste estudo, indicando a adaptação da espécie a esta condição. Conforme foi mencionado, os solos dos ervais amostrados possuem em média 60,6 mg dm⁻³ (Tabela 6), valor classificado como alto (teores > 5,0 mg dm⁻³) (CQFSRS/SC, 2016). Nesse sentido, 98% das áreas também apresentaram teores do micronutriente no solo classificados como alto. De acordo com os resultados apresentados, não parece haver restrição da produtividade da erva-mate em função de toxidez por Mn.

Figura 26. Relação entre produtividade de erva-mate e teores foliares de Mn. Os pontos verdes e vermelhos representam as amostras de ervais com produtividade acima e abaixo de 1200 @ ha⁻¹, respectivamente. O retângulo delimita a faixa de suficiência de Mn calculado pelo método da Chance Matemática. A linha tracejada representa o nível ótimo de suficiência.



A acumulação de Mn no tecido vegetal pode ser considerada como uma estratégia da planta para desenvolver-se em solos com elevadas concentrações do elemento. SANTIN et al. (2013b), em estudo que avaliou os efeitos da calagem no cultivo da erva-mate, observaram que os teores foliares de Mn foram muito superiores àqueles verificados nas raízes, o que poderia estar indicando um mecanismo fisiológico de tolerância da espécie para condições de solo com elevada acidez. No mesmo sentido, MAGRI et al. (2020) identificaram a ocorrência de teores foliares de Mn em erva-mate de 13.452 mg kg⁻¹ sem a manifestação de efeitos deletérios nas plantas. Teores nessa proporção classificam a erva-mate como uma espécie hiperacumuladora de Mn, conforme a classificação de BAKER et al. (1994), na qual são enquadradas espécies que acumulam teores acima de 10.000 mg kg⁻¹ do elemento na massa seca foliar. Conforme MAGRI et al. (2020), folhas de plantas jovens inicialmente podem apresentar sintomas de toxidez, porém estes desaparecem durante o desenvolvimento das mudas,

provavelmente quando o Mn é convertido em formas não tóxicas no tecido vegetal.

Assim de acordo com os resultados apresentados, não foi identificado um parâmetro específico de fertilidade do solo ou de nutrição vegetal que poderia estar limitando de forma impactante a produtividade dos ervais do RS. Porém, deve ser considerada a existência de um percentual importante de ervais com restrição nutricional de Ca. Outro aspecto a ser observado é o de que a erva-mate é uma cultura que deve ser considerada exigente em K em termos da recomendação da adubação. Por outro lado, foi verificado que a erva-mate possui baixa exigência de P e, portanto, é capaz de apresentar elevada produtividade mesmo em solos com teores baixos do nutriente. Além disso, a produtividade pode ser limitada por fatores ligados à implantação dos ervais, com materiais de baixa qualidade genética e fisiológica, com elevada taxa de mortalidade de plantas, obrigando a realização de replantios e resultando na formação de ervais heterogêneos (STURION & RESENDE, 2017; FLOSS, 1997).





Referências Bibliográficas

- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J. Estimativa da adubação nitrogenada para o milho em sistemas de manejo e cultura de cobertura do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 24:553-560, 2000.
- ANDRADE, F.M. Exploração, manejo e potencial socioeconômico da erva-mate. In: SIMÕES, L.L.; LINO, C.F. (Org.). *Sustentável Mata Atlântica: a exploração de seus recursos florestais*. São Paulo: Senac, 2002. p. 19-34.
- ANTONI, V.L. A estrutura competitiva da indústria ervateira do Rio Grande do Sul. 1995. Dissertação (Mestrado em Administração) - Programa de Pós-graduação em Administração, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.
- BAKER, A.J.M.; MCGRATH, S.P.; SIDOLI, C.M.D.; REEVES, R.D. The possibility of in situ heavy metal decontamination of polluted soils using crops of metalaccumulating plants. *Resources, Conservation and Recycling*, 11:41-49, 1994.
- BARBOSA, J.Z.; CONSALTER, R.; PAULETTI, V.; MOTTA, A.C.V. A magnitude da toxidez de B é dependente da condição de acidez do solo. *Revista Cultivando o Saber*, 6:113-121, 2013.
- BARRETO, P.A.B.; GAMA-RODRIGUES, E.F.; GAMA-RODRIGUES, A.C.; BARROS, N.F.; ALVES, B.J.R.; FONSECA, S. Mineralização de nitrogênio e carbono em solos sob plantações de eucalipto, em uma sequência de idades. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:735-745, 2010.
- BENEDETTI E.L.; SANTIN, D.; BARROS, N.F.; LEAL, G.P.; PRIETO, H.M.; LIMA, J.N.C. Alumínio estimula o crescimento radicular de erva-mate? *Pesquisa Florestal Brasileira*, 37:139-147, 2017.
- BERGMANN, M.; SANDER, A.; SILVEIRA, C.A.P. Agrominerais do grupo Serra Geral no Rio Grande do Sul. In: *Anais do IV Congresso Brasileiro de Rochagem*. Editora Autografia, 2021. p. 108-115.
- BISSO, F.P.; SALET, R.L. Exportação de nutrientes pela poda de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.). Santa Maria: Departamento de Solos UFSM, 2000. 1 CD-ROM.
- BRAGAGNOLO, N.; PAN, W.; KOSLOWSKI FILHO, L. Manual técnico de erva-mate. Curitiba: Associação de Crédito Rural do Paraná, 1980.
- CALDEIRA, M.V.W.; SCHUMACHER, M.V.; SANTOS, E. M. Conteúdo de nutrientes em uma procedência de *Acacia mearnsii* no Rio Grande do Sul - Brasil. *Boletim de Pesquisa Florestal*, 42: 105-121, 2001.
- CANTARUTTI, R.B.; BARROS, N.F.; MARTINEZ, H.E.P.; NOVAIS, R.F. Avaliação da Fertilidade do Solo e Recomendação de Fertilizantes. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V, V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. *Fertilidade do Solo*. 1. ed. Viçosa - MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.
- CARDOZO JUNIOR E.L. & MORAND C. Interest of mate (*Ilex paraguariensis* St-Hil.) as a new natural functional food to preserve human cardiovascular health - A review. *Journal Functional Foods*, 21:440-454, 2016.
- CARMO, C. B. Erva-mate: potencialidades locais e inovação tecnológica do processo produtivo em área de fronteira do estado de Mato Grosso do Sul. 2007. 137f. Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Local, Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2007.
- CARON, B.O.; SCHMIDT, D.; MANFRON, P.A.; BEHLING, A.; ELOY, E.; BUSANELLO C. Eficiência do uso da radiação solar por plantas *Ilex paraguariensis* cultivadas sob sombreamento e a pleno sol. *Ciência Florestal*, 24:257-265, 2014.
- CLEMENTE, R.C. Aplicação de doses de fósforo e enxofre na fase inicial de cultivo de clones de erva-mate. 2021. 53f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2021.
- CPRM-COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERIAIS. Mapa geológico do estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: CPRM, 2006.
- CQFSRS/SC - Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11 Ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2016. 376p.
- CQFSRS/SC - Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10 Ed., Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. 400p.
- DECHEN, A.R.; NACHTIGALL, G.R.; CARMELLO, Q.A.C.; SANTOS, L.A.; SPERANDIO, M.B.L. Micronutrientes. In: FERNANDES, M.S.; SOUZA, S.R.; SANTOS, L.A. (Eds.). *Nutrição mineral de plantas*, 2ed. Viçosa: SBCS, 2018. p.491-562.
- DEE - Departamento de Estudos Econômicos. DEE Dados 2020. Disponível em: <http://feedados.fe.tche.br/feedados/#!pesquisa=1>. Acesso em 29 jul. 2022.

- DICK, D.P.; SILVA, L.B. da; INDA, A.V.; KNICKER, H. Estudo comparativo da matéria orgânica de diferentes classes de solos de altitude do Sul do Brasil por técnicas convencionais e espectroscópicas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 32:2289-2296, 2008.
- ESCOSTEGUY, P.; GALLIASSI, K.; CERETTA, C.A. Determinação de matéria orgânica do solo pela perda de massa por ignição, em amostras do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:247-255, 2007.
- FERRAZ, H.M.R. Situação da atividade ervateira no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Emater/RS Ascar, 1995. 50 p.
- FLOSS, P. A. Programa de melhoramento genético da erva-mate na EPAGRI. in: Congresso Sulamericano da erva-mate, I. Reunião Técnica do Cone Sul sobre a Cultura da Erva-mate, II. Anais... Colombo: EMBRAPA CNPF, 1997. p. 279
- FUNDOMATE. Informativo do FUNDOMATE. Porto Alegre/RS, Governo do Estado do Rio Grande do Sul – SEAPI, 2018.
- GALVÃO, F.A.D.; VAHL, L. Propriedades químicas de solos orgânicos do litoral do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. *Revista brasileira de Agrociência*, 2:131-135, 1996.
- GERHARDT, M. História ambiental da erva-mate. 2013. 290 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em História, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- GRECCO, M. F. Dinâmica de liberação de nutrientes de rochas silicáticas em solos de diferentes texturas. 2018. 101f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018.
- GREFF, H.P. Identificação e caracterização do aglomerado industrial ervateiro do Alto Taquari - RS. 2016. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.
- HORN, T.B.; NASCIMENTO, J.; VOGEL, P.; FACCI, C. Evolução histórica do cultivo e usos da erva-mate. In: FERLA, N.J.; SILVA, G.L.; JOHANN, L. (Orgs.). *A cultura da erva-mate e os ácaros: situação atual e perspectivas*. Porto Alegre: Evangraf, 2018. p. 25-40.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA – Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2020a. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/289#resultado>. Acesso em: 26 jul. 2022.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA – Produção Agrícola Municipal 2020b. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613#resultado>. Acesso em: 26 jul. 2022.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA – Censo Agropecuário 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6955>. Acesso em 25 jul. 2022.
- IBGE. Levantamento de Recursos Naturais: Folha SH. 22 Porto Alegre e partes das folhas SH. 21 Uruguaiana e SL. 22 Lagoa Mirim. Rio de Janeiro: IBGE, v. 33, 1986. 796p.
- IBGE. Produção agrícola municipal (PAM), Erva-mate (ano base 2016), IBGE, 2018.
- IBRAMATE. Diagnóstico da cadeia produtiva da erva-mate no estado do Rio Grande do Sul. <http://ibramate.com.br/2018/05/28/diagnostico-da-cadeia-produtiva-da-erva-mate-no-estado-do-rio-grande-do-sul/>. Acessado em 20/06/2022.
- INYM - INSTITUTO NACIONAL DE LA YERBA MATE. Estadísticas Diciembre 2020. Disponível em: <https://inym.org.ar/descargar/publicaciones/estadisticas/2020.html>. Acesso em: 26 jul 2022.
- KICHEL, I. Aspectos econômicos da atividade ervateira no Rio Grande do Sul. 2002. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Economia) – Faculdade de Ciências Econômicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.
- KURIHARA, C.H.; MAEDA, S.; ALVAREZ, V.H.V. Interpretação de Resultados de Análise Foliar. *Comunicado Técnico*, 74. Colombo; Embrapa Florestas, 2005. 42 p
- MACCARI JUNIOR, A. Análise do pré-processamento da erva-mate para chimarrão. 2005. 215 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- MAGRI, E; BARBOSA, J.Z.; PRIOR, S.A.; VALDUGA, A.T.; MOTTA, A.C.M. Linking edaphoclimatic conditions with elementary composition of yerba mate leaves in South America. *Journal of Food Composition and Analysis*, 107:104360, 2022.

- MAGRI, E.; GUGELMIN, E.K.; GRABARSKI, F.A.P.; BARBOSA, J.Z.; AULER, A.C.; WENDLING, I.; PRIOR, S.A.; VALDUGA, A.T.; MOTTA, A.C.V. Manganese hyperaccumulation capacity of *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. and occurrence of interveinal chlorosis induced by transient toxicity. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 203:111010, 2020.
- MARQUES, A.C.; REIS, M.S.; DENARDIN, V.F. As paisagens da erva-mate: usos das florestas e conservação socioambiental. *Ambiente & Sociedade*, 22:e02822, 2019.
- MISSIO, E.L.; NICOLOSO, F.T. Distúrbios nutricionais induzidos pela adubação de fósforo e ferro em plantas jovens de grábia (*Apuleia leiocarpa*). *Ciência Florestal*, 15:377-389, 2005.
- MOTTA, A.C.V.; BARBOSA, J.Z.; MAGRI, E.; PEDREIRA, G.Q.; SANTIN, D.; PRIOR, S.A.; CONSALTER, R.; YOUNG, S.D.; BROADLEY, M.R.; BENEDETTI, E.L. Elemental composition of yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. St. Hil.) under low input systems of southern Brazil. *Science of the Total Environment*, 736:139637, 2020.
- OLIVA, E.V.; REISSMANN, C.B.; GAIAD, S.; OLIVEIRA, E. B. DE; STURION, J.A. Composição nutricional de procedências e progênes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) cultivadas em Latossolo Vermelho distrófico. *Ciência Florestal*, 24:793-805, 2014.
- OLIVEIRA, S.V.; WAQUIL, P.D. Dinâmica de produção e comercialização da erva-mate no Rio Grande do Sul, Brasil. *Ciência Rural*, 45:750-756, 2015.
- OLIVEIRA, Y.M.M.; ROTTA, E. Área de distribuição natural da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). In: Seminário sobre atualidades e perspectivas florestais, 10., 1985, Curitiba. Anais... Curitiba, Embrapa-CNPf, 1985. p. 17-36. (Documento, 15).
- PAZ-FERREIRO, J.; VÁZQUEZ, E. V.; MIRANDA, J.G.V. Assessing soil particle-size distribution on experimental plots with similar texture under different management systems using multifractal parameters. *Geoderma*, 160:47-56, 2010.
- PICCOLO, G.A.; GALANTINI, J.A.; ROSELL, R.A. Organic carbon fractions in a yerba mate plantation on a subtropical Kandihumult of Argentina. *Geoderma*, 123:333-341, 2004.
- PROJETO RADAMBRASIL. Levantamento de recursos naturais, v. 33. Rio de Janeiro: IBGE, 1986. 796 p.
- RAU, V. La yerba mate en Misiones (Argentina). Estructura y significados de una producción localizada. *Agroalimentaria*, 15:49-58, 2009.
- REISSMANN, C.B.; CARNEIRO, C. Crescimento e composição química de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), transcorridos oito anos de calagem. *Revista Floresta*, 34:381-386, 2004.
- REISSMANN, C.B.; PREVEDELLO, B.M.S.; QUADROS, R.M.B.; RADOMSKI, M.I. Production and foliar N, P, K, Ca and Mg levels in erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) related to increasing base saturation levels. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*, 40:241-249, 1997.
- REISSMANN, C.B.; RADOMSKI, M.I.; QUADROS, R.M.B. Chemical composition of *Ilex paraguariensis* St. Hil. under different management conditions in seven localities of Paraná state. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 42:187-194, 1999.
- REISSMANN, C.B.; ROCHA, H.O.; KOEHLER, C.W.; CALDAS, R.L.S.; HILDEBRAND, E.E. Bioelementos em folhas e hastes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill.) sobre cambissolos na região de Mandirituba - PR. *Floresta*, 16:49-54, 1983.
- ROBERTSON, G.P.; GROFFMAN, P.M. Nitrogen transformations. In: PAUL, E.A. (ed.) *Soil microbiology, ecology and biochemistry*. 4 ed. Academic Press: Burlington. 2015. p.421-446.
- ROSSA, Ü.B. ANGELO, A.C.; NISGOSKI, S.; WESTPHALEN, D.J.; FRIZON, C.N.T.; HOFFMANN-RIBANI, R. Application of the NIR method to determine nutrients in yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hill) leaves. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 46:2323-2331, 2015.
- ROZANE, D.E.; PARENT, L.E.; NATALE, W. Evolution of the predictive criteria for the tropical fruit tree nutritional status. *Científica*, 44:102-112, 2016.
- SANTIN, D.; BENEDETTI, E.L.; ALMEIDA, I.C.; BARROS, N.F.; WENDLING, I. Calagem melhora a disponibilidade de cálcio no solo e a produtividade de *Ilex paraguariensis* St. Hil. In: Congresso Sudamericano De Yerba Mate, 6.; Simposio Internacional De Yerba Mate Y Salud, 2., 2014a, Montevideo.
- SANTIN, D.; BENEDETTI, E.L.; BARROS, N.F.; ALMEIDA, I.C.; SIMIQUELI, G.F.; NEVES, J.C.L.; WENDLING, I.; REISSMANN, C.B. Adubação nitrogenada e intervalos de colheita na produtividade e nutrição da erva-mate e em frações de carbono e nitrogênio do solo. *Ciência Florestal* 29: 1199-1214, 2019.

- SANTIN, D.; BENEDETTI, E.L.; BARROS, N.F.; ALMEIDA, I.C.; LEAL, G.P.; FONTES, L.; NEVES, J.C.L.; WENDLING, I.; REISSMANN, C.B. Effect of potassium fertilization on yield and nutrition of yerba mate (*Ilex paraguariensis*). Revista Brasileira de Ciência do Solo, 38:1469-1477, 2014b
- SANTIN, D.; BENEDETTI, E.L.; BARROS, N.F.; FONTES, L.L.; ALMEIDA, I.C.; NEVES, J.C.L.; WENDLING, I. Manejo de colheita e adubação fosfatada na cultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis*) em fase de produção. Ciência Florestal, 27:783-797, 2017.
- SANTIN, D.; BENEDETTI, E.L.; BASTOS, M.C.; KASEKER, J.F.; REISSMANN, C.B.; BRONDANI, G.E.; BARROS, N.F. Crescimento e nutrição de erva-mate influenciados pela adubação nitrogenada, fosfatada e potássica. Ciência Florestal, 23:363-375, 2013a.
- SANTIN, D.; BENEDETTI, E.L.; KASEKER, J.F.; BASTOS, M.C.; REISSMANN, C.B.; WENDLING, I.; BARROS, N.F. Nutrição e crescimento da erva-mate submetida à calagem. Ciência Florestal, 23, 55-66, 2013b.
- SEAPDR – Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural. Informativo Roda de Mate. Disponível em: <https://www.agricultura.rs.gov.br/roda-de-mate>. Acesso em: 20 jul. 2022.
- SILVA, J.B. Micronutrientes em perfis de solos do Escudo Sul-riograndense. 2009. 79 f. Dissertação (Mestrado) Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2009.
- SOUZA, J.L.M.; ARAUJO, M.A.; BRONDANI, G.E.; REISSMANN, C.B.; MACCARI JÚNIOR, A.; WOLF, C.S. Exportação de nutrientes foliares em diferentes tipos de poda na cultura da erva-mate. Scientia Agraria, 9:177-185, 2008.
- STRECK, E.V.; KAMPF, N.; DALMOLIN, R.S.D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P.C.; SCHNEIDER, P. Solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS/EMATER, 2002. 107p.
- STURION, J.A.; RESENDE, M.D.V. Programa de melhoramento genético da erva-mate na EPAGRI. In: I Congresso Sulamericano da erva-mate, II Reunião Técnica do Cone Sul sobre a cultura da erva-mate, 2. Anais... Colombo: EMBRAPA CNPF, 2017. p. 279
- TEIXEIRA, A.M.S.; GARRIDO, F.M.S.; MEDEIROS, M.E.; SAMPAIO, J.A. Estudo do comportamento térmico da rocha fonolito com fins à produção de fertilizantes. Holos, 5:52-64, 2015.
- TOPPEL, F.V.; JUNIOR, A.M.; MOTTA, A.C.V., FRIGO, C.; MAGRI, E.; BARBOSA, J.Z. Soil chemical attributes and their influence on elemental composition of yerba mate leaves. Floresta, 48: 425-434, 2018.
- VASCONCELLOS, F.C.F. Os impactos da criação do Mercosul no mercado de erva-mate no Rio Grande do Sul. 2012. 66f. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.
- VESTENA, L.R.; SANTOS, E.R.D. Dinâmica tempo-espacial da territorialização de produção da erva-mate (*Ilex paraguariensis*) no Brasil de 2008 a 2018. Confins/Revista Franco-Brasileira de Geografia, 55 ,2022.
- WADT, P.G.S.; ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; FONSECA, S.; BARROS, N.F. O método da Chance Matemática na interpretação de dados de levantamento nutricional de eucalipto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 22:773-778, 1998.
- WOLF, C.S. Estimativa da exportação de nutrientes foliares em diferentes tipos de poda na cultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). 2005. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- ZAHRA, N.; HAFEEZ, M.B.; SHAUKAT, K.; WAHID, A.; HASANUZZAMAN, M. Fe toxicity in plants: impacts and remediation. Physiologia Plantarum, 173:201-222, 2021.
- ZANIN, V.; MEYER, L.G. Evolução da margem de comercialização da erva-mate no Rio Grande do Sul. Revista iPecege, 4:7-18, 2018.

Apêndices

Apêndice 1: Método da Chance Matemática

Para a determinação das faixas mais adequadas de densidade de plantas, de pH do solo e de suficiência de nutrientes no tecido foliar da erva-mate, foi empregado o método da Chance Matemática (ChM) (WADT et al., 1998; KURIHARA et al., 2005). A densidade de plantas e a produtividade de cada erval foram estimadas a partir de questionário aplicado junto aos produtores, enquanto o pH do solo e os teores de nutrientes no tecido vegetal foram obtidos a partir de análises laboratoriais. Para o cálculo da ChM, foram agrupados os resultados densidade de plantas, pH do solo e dos teores foliares de cada nutriente erva de alta produtividade, considerados como tal aqueles com produção acima de 1200 @ ha⁻¹. O número de classes possíveis (I) foi calculado pela expressão $I = n^{0,5}$, na qual n representa o número de erva avaliados no estudo. A partir da determinação de I e com o cálculo da amplitude (A) dos teores de cada nutriente, foi calculado o intervalo de classe (IC) para cada nutriente por meio da fórmula $IC = A/I$.

Em cada classe de teor, foi calculada a Chance Matemática, por meio da seguinte expressão:

$$ChM = \{[F(A/nA).Prod]. [F(A/nt).Prod]\}^{0,5}$$

Em que:

ChM: Chance matemática (@ ha⁻¹);

F(A/nA): Frequência de erva de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de erva de alta produtividade;

F(A/nt): Frequência de erva de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de erva da classe avaliada;

nA: número total de erva de alta produtividade;

Prod: Produção média dos erva de alta produtividade para classe avaliada;

nt: número total de erva da classe avaliada.

As classes que apresentaram os maiores valores para a Chance Matemática foram consideradas como a faixa de suficiência nutricional para determinado nutriente, sendo que o valor mais baixo foi considerado como o nível crítico enquanto o valor da mediana da faixa foi considerado como o nível ótimo do nutriente. Foi utilizado como critério para a separação das classes em faixas de suficiência o valor de pelo menos 75 % do maior valor da ChM para o nutriente avaliado.

Apêndice 2. Quadro da análise da Chance Matemática para densidade.

Classe	LS	LI	N	A	F(A/nt)	F(A/nA)	PROD	CHM
	Densidade		@ ha ⁻¹					
1	5561	55106	2	0	0	0	0	0
2	5106	4651	2	0	0	0	0	0
3	4651	4196	8	2	0,0645	0,25	1400,00	177,80
4	4196	3741	5	2	0,0645	0,40	1400,00	224,9
5	3741	3286	27	5	0,1613	0,19	1800,00	311,09
6	3286	2831	10	2	0,0645	0,20	2250,00	255,58
7	2831	2376	32	10	0,3226	0,31	1422,00	451,49
8	2376	1921	14	6	0,1935	0,43	1400,00	403,21
9	1921	1466	14	3	0,0968	0,21	1466,67	211,21
10	1466	1011	9	1	0,0323	0,11	1200,00	71,84
11	1011	556	6	0	0	0	0	0

LI e LS: Limite inferior e superior do teor de nutriente da faixa de suficiência nutricional, respectivamente. N: número de erva na classe, A: número de erva de alta produtividade na classe. F(A/nA): Frequência de erva de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de erva de alta produtividade; F(A/nt): Frequência de erva de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de erva da classe avaliada.

Apêndice 3. Quadro da análise da Chance Matemática para estimativa das faixas de pH do solo.

Classe	LS	LI	N	A	F(A/nt)	F(A/nA)	PROD	CHM
	pH							
1	6,5	6,3	3	0	0	0	0	0
2	6,3	6,1	1	1	0,0244	1,00	1600,00	249,88
3	6,1	5,9	5	2	0,0488	0,40	1700,00	237,47
4	5,9	5,7	5	0	0,0000	0,00	0,00	0,00
5	5,7	5,5	15	1	0,0244	0,07	1500,00	60,49
6	5,5	5,3	17	1	0,0244	0,06	1200,00	45,45
7	5,3	5,1	17	3	0,0732	0,18	1430,00	162,50
8	5,1	4,9	30	9	0,2195	0,30	1966,67	504,69
9	4,9	4,7	20	5	0,1220	0,25	1520,00	265,40
10	4,7	4,5	24	6	0,1463	0,25	1272,17	243,33
11	4,5	4,3	24	4	0,0976	0,17	1275,00	162,58
12	4,3	4,1	17	2	0,0488	0,12	1200,00	90,91
13	4,1	3,9	16	6	0,1463	0,38	1520,00	356,08
14	3,9	3,7	3	1	0,0244	0,33	2400,00	216,40

LI e LS: Limite inferior e superior do teor de nutriente da faixa de suficiência nutricional, respectivamente. N: número de ervais na classe, A: número de ervais de alta produtividade na classe. F(A/nA): Frequência de ervais de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de ervais de alta produtividade; F(A/nt): Frequência de ervais de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de ervais da classe avaliada.

Apêndice 4. Quadro da análise da Chance Matemática para estimativa das faixas de suficiência nutricional para nitrogênio no tecido foliar da erva-mate.

Classe	LS	LI	N	A	F(A/nt)	F(A/nA)	PROD	CHM
	N (%)							
1	3,64	3,43	1	1	0,024	1,00	1333	208
2	3,43	3,22	2	1	0,024	0,50	1400	155
3	3,22	3,01	3	2	0,049	0,67	1850	334
4	3,01	2,8	10	1	0,024	0,10	1200	59
5	2,8	2,59	13	1	0,024	0,08	3000	130
6	2,59	2,38	25	3	0,073	0,12	1367	128
7	2,38	2,17	28	3	0,073	0,11	1667	148
8	2,17	1,96	49	12	0,293	0,24	1608	431
9	1,96	1,75	34	9	0,220	0,26	1501	362
10	1,75	1,54	18	4	0,098	0,22	1450	214
11	1,54	1,33	6	3	0,073	0,50	1467	281
12	1,33	1,12	5	0	0,000	0,00	0	0
13	1,12	0,91	1	1	0,024	1,00	1500	234
14	0,91	0,7	1	0	0,000	0,00	0	0

LI e LS: Limite inferior e superior do teor de nutriente da faixa de suficiência nutricional, respectivamente. N: número de ervais na classe, A: número de ervais de alta produtividade na classe. F(A/nA): Frequência de ervais de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de ervais de alta produtividade; F(A/nt): Frequência de ervais de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de ervais da classe avaliada.

Apêndice 5. Quadro da análise da Chance Matemática para estimativa das faixas de suficiência nutricional para fósforo no tecido foliar da erva-mate.

Classe	LS	LI	N	A	F(A/nt)	F(A/nA)	PROD	CHM
	P (%)							
1	0,49	0,46	1	0	0,000	0,00	0	0
2	0,46	0,43	0	0	0,000	0,00	0	0
3	0,43	0,4	0	0	0,000	0,00	0	0
4	0,4	0,37	2	1	0,024	0,50	1500	166
5	0,37	0,34	2	0	0,000	0,00	0	0
6	0,34	0,31	1	0	0,000	0,00	0	0
7	0,31	0,28	2	0	0,000	0,00	0	0
8	0,28	0,25	3	0	0,000	0,00	0	0
9	0,25	0,22	6	2	0,049	0,33	1350	172
10	0,22	0,19	9	1	0,024	0,11	1333	69
11	0,19	0,16	20	5	0,122	0,25	1300	227
12	0,16	0,13	54	12	0,293	0,22	1683	429
13	0,13	0,1	62	14	0,341	0,23	1701	472
14	0,1	0,07	35	6	0,146	0,17	1367	216

LI e LS: Limite inferior e superior do teor de nutriente da faixa de suficiência nutricional, respectivamente. N: número de ervais na classe, A: número de ervais de alta produtividade na classe. F(A/nA): Frequência de ervais de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de ervais de alta produtividade; F(A/nt): Frequência de ervais de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de ervais da classe avaliada.

Apêndice 6. Quadro da análise da Chance Matemática para estimativa das faixas de suficiência nutricional para potássio no tecido foliar da erva-mate.

Classe	LS	LI	N	A	F(A/nt)	F(A/nA)	PROD	CHM
	K (%)							
1	2,59	2,44	1	1	0,024	1,00	1333	208
2	2,44	2,29	1	0	0,000	0,00	0	0
3	2,29	2,14	4	0	0,000	0,00	0	0
4	2,14	1,99	5	1	0,024	0,20	2400	168
5	1,99	1,84	13	3	0,073	0,23	1267	165
6	1,84	1,69	19	4	0,098	0,21	1350	193
7	1,69	1,54	27	6	0,146	0,22	1350	243
8	1,54	1,39	27	9	0,220	0,33	1467	397
9	1,39	1,24	31	10	0,244	0,32	1731	486
10	1,24	1,09	24	0	0,000	0,00	0	0
11	1,09	0,94	22	4	0,098	0,18	1750	233
12	0,94	0,79	9	0	0,000	0,00	0	0
13	0,79	0,64	10	3	0,073	0,30	1900	282
14	0,64	0,49	3	0	0,000	0,00	0	0

LI e LS: Limite inferior e superior do teor de nutriente da faixa de suficiência nutricional, respectivamente. N: número de ervais na classe, A: número de ervais de alta produtividade na classe. F(A/nA): Frequência de ervais de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de ervais de alta produtividade; F(A/nt): Frequência de ervais de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de ervais da classe avaliada.

Apêndice 7. Quadro da análise da Chance Matemática para estimativa das faixas de suficiência nutricional para cálcio no tecido foliar da erva-mate.

Classe	LS	LI	N	A	F(A/nt)	F(A/nA)	PROD	CHM
	Ca (%)							
1	1,56	1,47	0	0	0,000	0,00	1333	0
2	1,47	1,38	1	0	0,000	0,00	0	0
3	1,38	1,29	0	0	0,000	0,00	0	0
4	1,29	1,2	3	0	0,000	0,00	2400	0
5	1,2	1,11	7	1	0,024	0,14	1400	83
6	1,11	1,02	13	2	0,049	0,15	1400	121
7	1,02	0,93	23	7	0,171	0,30	1843	420
8	0,93	0,84	38	8	0,195	0,21	1649	334
9	0,84	0,75	28	8	0,195	0,29	1650	390
10	0,75	0,66	45	8	0,195	0,18	1425	265
11	0,66	0,57	24	3	0,073	0,13	1373	131
12	0,57	0,48	9	3	0,073	0,33	1300	203
13	0,48	0,39	3	0	0,000	0,00	0	0
14	0,39	0,3	2	1	0,024	0,50	1333	147

LI e LS: Limite inferior e superior do teor de nutriente da faixa de suficiência nutricional, respectivamente. N: número de ervais na classe, A: número de ervais de alta produtividade na classe. F(A/nA): Frequência de ervais de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de ervais de alta produtividade; F(A/nt): Frequência de ervais de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de ervais da classe avaliada.

Apêndice 8. Quadro da análise da Chance Matemática para estimativa das faixas de suficiência nutricional para magnésio no tecido foliar da erva-mate.

Classe	LS	LI	N	A	F(A/nt)	F(A/nA)	PROD	CHM
	Mg (%)							
1	1,76	1,66	1	0	0,000	0,00	0	0
2	1,66	1,56	0	0	0,000	0,00	0	0
3	1,56	1,46	0	0	0,000	0,00	0	0
4	1,46	1,36	0	0	0,000	0,00	0	0
5	1,36	1,26	0	0	0,000	0,00	0	0
6	1,26	1,16	1	1	0,025	1,00	1600	253
7	1,16	1,06	7	2	0,050	0,29	2100	251
8	1,06	0,96	13	3	0,075	0,23	1400	184
9	0,96	0,86	26	1	0,025	0,04	3000	93
10	0,86	0,76	29	8	0,200	0,28	1536	361
11	0,76	0,66	2	0	0,000	0,00	0	0
12	0,66	0,56	71	16	0,400	0,23	1544	463
13	0,56	0,46	39	7	0,175	0,18	1489	264
14	0,46	0,36	6	2	0,050	0,33	1267	164

LI e LS: Limite inferior e superior do teor de nutriente da faixa de suficiência nutricional, respectivamente. N: número de ervais na classe, A: número de ervais de alta produtividade na classe. F(A/nA): Frequência de ervais de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de ervais de alta produtividade; F(A/nt): Frequência de ervais de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de ervais da classe avaliada.

Apêndice 9. Quadro da análise da Chance Matemática para estimativa das faixas de suficiência nutricional para enxofre no tecido foliar da erva-mate.

Classe	LS	LI	N	A	F(A/nt)	F(A/nA)	PROD	CHM
	S (%)							
1	0,43	0,4	2	0	0,000	0,000	0	0
2	0,4	0,37	0	0	0,000	0,000	0	0
3	0,37	0,34	6	2	0,056	0,333	1417	193
4	0,34	0,31	11	3	0,083	0,273	1233	186
5	0,31	0,28	8	1	0,028	0,125	1200	71
6	0,28	0,25	13	1	0,028	0,077	1320	61
7	0,25	0,22	19	2	0,056	0,105	1695	130
8	0,22	0,19	25	4	0,111	0,160	1400	187
9	0,19	0,16	13	3	0,083	0,231	1633	227
10	0,16	0,13	24	9	0,250	0,375	1544	473
11	0,13	0,10	25	7	0,194	0,280	1600	373
12	0,10	0,07	17	1	0,028	0,059	1500	61
13	0,07	0,04	11	3	0,083	0,273	2233	337
14	0,43	0,4	2	0	0,000	0,000	0	0

LI e LS: Limite inferior e superior do teor de nutriente da faixa de suficiência nutricional, respectivamente. N: número de ervais na classe, A: número de ervais de alta produtividade na classe. F(A/nA): Frequência de ervais de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de ervais de alta produtividade; F(A/nt): Frequência de ervais de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de ervais da classe avaliada.

Apêndice 10. Quadro da análise da Chance Matemática para estimativa das faixas de suficiência nutricional para ferro no tecido foliar da erva-mate.

Classe	LS	LI	N	A	F(A/nt)	F(A/nA)	PROD	CHM
	Fe (mg kg ⁻¹)							
1	511	479	2	0	0	0	0	0
2	479	447	0	0	0	0	0	0
3	447	415	2	1	0,0256	0,5	1200	135,87
4	415	383	1	0	0	0	1500	0
5	383	351	1	0	0	0	0	0
6	351	319	2	1	0,0256	0,5	1500	169,84
7	319	287	2	0	0	0	-	0
8	287	255	5	0	0	0	-	0
9	255	223	13	3	0,0769	0,2308	2030	270,47
10	223	191	14	1	0,0256	0,0714	1200	51,35
11	191	159	20	1	0,0256	0,05	1200	42,97
12	159	127	40	9	0,2308	0,225	1691,11	385,35
13	127	95	62	10	0,2564	0,1613	1510	307,08
14	95	63	29	13	0,3333	0,4483	1564,08	604,6

LI e LS: Limite inferior e superior do teor de nutriente da faixa de suficiência nutricional, respectivamente. N: número de ervais na classe, A: número de ervais de alta produtividade na classe. F(A/nA): Frequência de ervais de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de ervais de alta produtividade; F(A/nt): Frequência de ervais de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de ervais da classe avaliada.

Apêndice 11. Quadro da análise da Chance Matemática para estimativa das faixas de suficiência nutricional para boro no tecido foliar da erva-mate.

Classe	LS	LI	N	A	F(A/nt)	F(A/nA)	PROD	CHM
	B (mg kg ⁻¹)							
1	146	137	1	0	0,000	0,00	0	0
2	137	128	0	0	0,000	0,00	0	0
3	128	119	1	0	0,000	0,00	0	0
4	119	110	1	0	0,000	0,00	0	0
5	110	101	8	0	0,000	0,00	0	0
6	101	92	15	0	0,000	0,00	0	0
7	92	83	10	0	0,000	0,00	0	0
8	83	74	16	4	0,111	0,25	1525	254
9	74	65	24	8	0,222	0,33	1552	423
10	65	56	25	5	0,139	0,20	1578	263
11	56	47	28	10	0,278	0,36	1703	536
12	47	38	26	6	0,167	0,23	1300	255
13	38	29	14	3	0,083	0,21	1667	223

LI e LS: Limite inferior e superior do teor de nutriente da faixa de suficiência nutricional, respectivamente. N: número de ervais na classe, A: número de ervais de alta produtividade na classe. F(A/nA): Frequência de ervais de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de ervais de alta produtividade; F(A/nt): Frequência de ervais de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de ervais da classe avaliada.

Apêndice 12. Quadro da análise da Chance Matemática para estimativa das faixas de suficiência nutricional para cobre no tecido foliar da erva-mate.

Classe	LS	LI	N	A	F(A/nt)	F(A/nA)	PROD	CHM
	Cu (mg kg ⁻¹)							
1	30	28	0	0	0,000	0,00	0	0
2	28	26	1	0	0,000	0,00	1400	0
3	26	24	2	1	0,025	0,50	2000	224
4	24	22	2	1	0,025	0,50	1500	168
5	22	20	2	0	0,000	0,00	0	0
6	20	18	5	1	0,025	0,20	1200	85
7	18	16	19	5	0,125	0,26	1651	299
8	16	14	45	13	0,325	0,29	1407	431
9	14	12	47	10	0,250	0,21	1643	379
10	12	10	39	3	0,075	0,08	1267	96
11	10	8	24	6	0,150	0,25	1858	360
12	8	6	6	0	0,000	0,00	0	0
13	6	4	1	0	0,000	0,00	0	0
14	4	2	2	0	0,000	0,00	0	0

LI e LS: Limite inferior e superior do teor de nutriente da faixa de suficiência nutricional, respectivamente. N: número de ervais na classe, A: número de ervais de alta produtividade na classe. F(A/nA): Frequência de ervais de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de ervais de alta produtividade; F(A/nt): Frequência de ervais de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de ervais da classe avaliada.

Apêndice 13. Quadro da análise da Chance Matemática para estimativa das faixas de suficiência nutricional para manganês no tecido foliar da erva-mate.

Classe	LS	LI	N	A	F(A/nt)	F(A/nA)	PROD	CHM
	Mn (mg kg ⁻¹)							
1	5719	5319	2	0	0,000	0,00	0	0
2	5319	4919	0	0	0,000	0,00	0	0
3	4919	4519	4	1	0,025	0,00	1200	0
4	4519	4119	1	0	0,000	0,00	0	0
5	4119	3719	5	0	0,000	0,00	0	0
6	3719	3319	8	1	0,025	0,13	1200	67
7	3319	2919	10	2	0,050	0,20	2195	220
8	2919	2519	14	4	0,100	0,29	1650	279
9	2519	2119	21	4	0,100	0,19	1525	210
10	2119	1719	30	8	0,200	0,27	1525	352
11	1719	1319	31	6	0,150	0,19	1653	282
12	1319	919	26	4	0,100	0,15	1450	180
13	919	519	28	8	0,200	0,29	1563	374
14	519	119	15	2	0,050	0,13	1333	109

LI e LS: Limite inferior e superior do teor de nutriente da faixa de suficiência nutricional, respectivamente. N: número de ervais na classe, A: número de ervais de alta produtividade na classe. F(A/nA): Frequência de ervais de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de ervais de alta produtividade; F(A/nt): Frequência de ervais de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de ervais da classe avaliada.

Apêndice 14. Quadro da análise da Chance Matemática para estimativa das faixas de suficiência nutricional para zinco no tecido foliar da erva-mate.

Classe	LS	LI	N	A	F(A/nt)	F(A/nA)	PROD	CHM
	Zn (mg kg ⁻¹)							
1	436	406	1	0	0,000	0,00	0	0
2	406	376	1	2	0,050	0,00	1400	0
3	376	346	1	0	0,000	0,00	0	0
4	346	316	1	0	0,000	0,00	0	0
5	316	286	0	0	0,000	0,00	0	0
6	286	256	3	0	0,000	0,00	0	0
7	256	226	1	1	0,025	1,00	1400	221
8	226	196	10	2	0,050	0,20	1600	160
9	196	166	9	2	0,050	0,22	1300	137
10	166	136	8	0	0,000	0,00	0	0
11	136	106	27	8	0,200	0,30	1617	394
12	106	76	34	5	0,125	0,15	1758	238
13	76	46	52	6	0,150	0,12	1333	175
14	46	16	46	14	0,350	0,30	1232	402

LI e LS: Limite inferior e superior do teor de nutriente da faixa de suficiência nutricional, respectivamente. N: número de ervais na classe, A: número de ervais de alta produtividade na classe. F(A/nA): Frequência de ervais de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de ervais de alta produtividade; F(A/nt): Frequência de ervais de alta produtividade para a classe avaliada em relação ao total geral de ervais da classe avaliada.



GOVERNO DO ESTADO
RIO GRANDE DO SUL

SECRETARIA DA AGRICULTURA,
PECUÁRIA, PRODUÇÃO
SUSTENTÁVEL E IRRIGAÇÃO

2023

**Secretaria da Agricultura, Pecuária,
Produção Sustentável e Irrigação do Rio Grande do Sul
Departamento de Diagnóstico e Pesquisa Agropecuária**