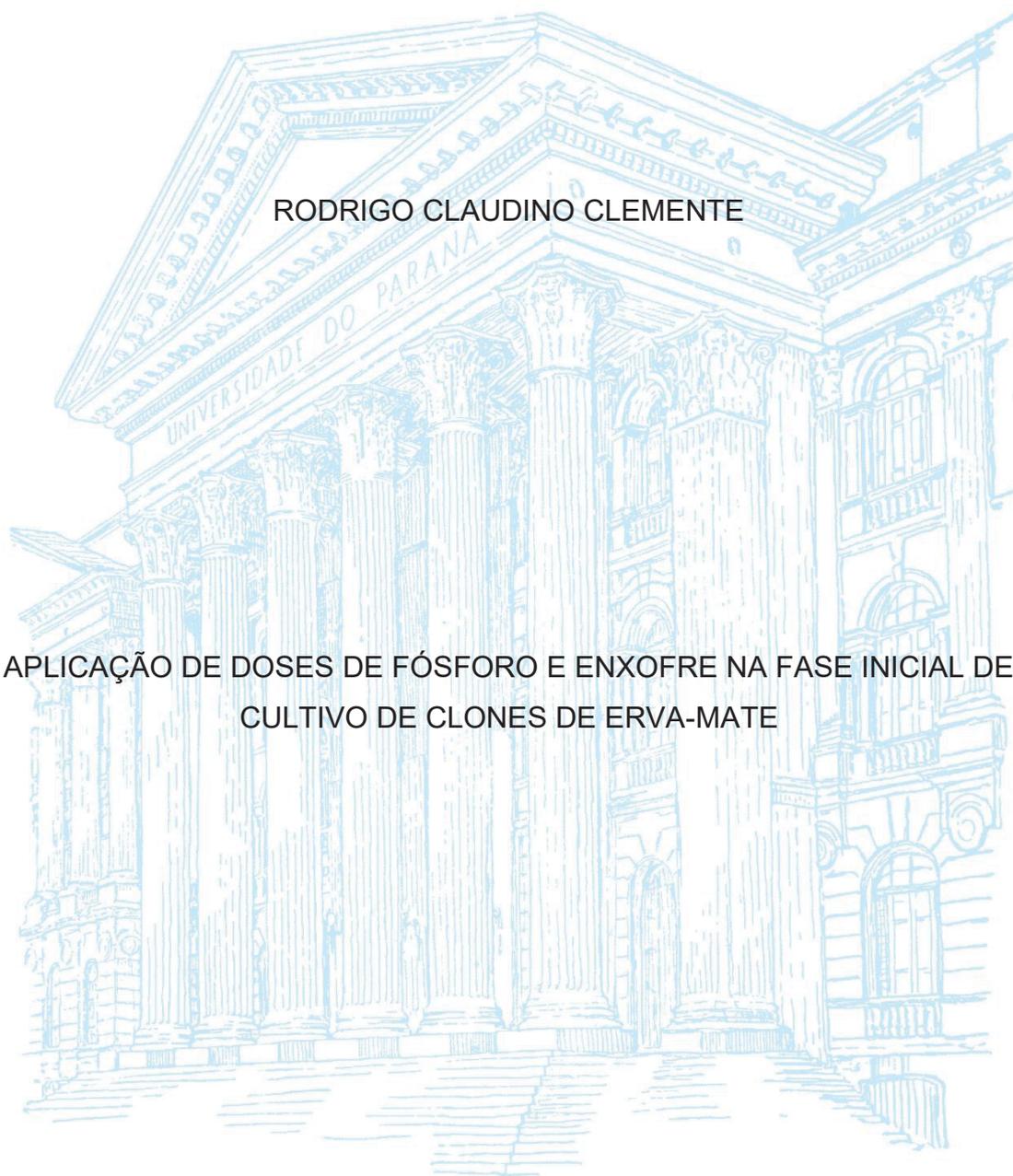


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RODRIGO CLAUDINO CLEMENTE

APLICAÇÃO DE DOSES DE FÓSFORO E ENXOFRE NA FASE INICIAL DE
CULTIVO DE CLONES DE ERVA-MATE



CURITIBA

2021

RODRIGO CLAUDINO CLEMENTE

APLICAÇÃO DE DOSES DE FÓSFORO E ENXOFRE NA FASE INICIAL DE
CULTIVO DE CLONES DE ERVA-MATE

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Coorientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Varga Motta

Coorientadora: Profa. Dra. Eliziane Luiza Benedetti

CURITIBA

2021

Clemente, Rodrigo Claudino

Aplicação de doses de fósforo e enxofre na fase inicial de cultivo de clones de erva-mate. - Curitiba, 2021.

53f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Volnei Pauletti

Coorientador: Prof. Dr. Antônio Carlos Varga Motta

Coorientadora: Profa. Dra. Eliziane Luiza Benedetti

1. Erva-mate - cultivo. 2. Erva-mate - exportação. 3. Ciência do solo. I. Pauletti, Volnei. II. Motta, Antônio Carlos Varga. III. Benedetti, Eliziane Luiza. IV. Título V. Universidade Federal do Paraná.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO -
40001016014P4

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA DO SOLO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **RODRIGO CLAUDINO CLEMENTE** intitulada: **APLICAÇÃO DE FÓSFORO E ENXOFRE NA FASE INICIAL DE CULTIVO DE CLONES DE ERVA-MATE**, sob orientação do Prof. Dr. VOLNEI PAULETTI, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 25 de Junho de 2021.

Assinatura Eletrônica

25/06/2021 12:11:59.0

VOLNEI PAULETTI

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

25/06/2021 12:11:47.0

DELMAR SANTIN

Avaliador Externo (AUTÔNOMO)

Assinatura Eletrônica

25/06/2021 13:52:48.0

MÁRCIA TOFFANI SIMÃO SOARES

Avaliador Externo (EMBRAPA FLORESTAS)

Rua dos Funcionários, 1540 - CURITIBA - Paraná - Brasil
CEP 80035-050 - Tel: (41) 3350-5648 - E-mail: pgcisolo@ufpr.br

Documento assinado eletronicamente de acordo com o disposto na legislação federal Decreto 8539 de 08 de outubro de 2015.

Gerado e autenticado pelo SIGA-UFPR, com a seguinte identificação única: 98210

Para autenticar este documento/assinatura, acesse <https://www.prppg.ufpr.br/siga/visitante/autenticacaoassinaturas.jsp>
e insira o código 98210

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida.

Ao Prof. Dr. Volnei Pauletti, pela orientação, ensinamentos e amizade.

A UFPR, por proporcionar a estrutura para grande parte do aprendizado adquirido durante minha vida acadêmica.

Aos participantes do projeto de pesquisa (Antônio Carlos Vargas Motta, Delmar Santin, Eliziane Luiza Benedetti e Ivar Wendling), pela instalação e condução dos experimentos e fornecimento de dados.

As laboratoristas, Fabiane e Maria, pelo auxílio nas análises laboratoriais.

Ao proprietário da área experimental, Alfeu Schneider, por disponibilizar a área para execução dos experimentos.

A companheira, Hemilia, pelo apoio incondicional, motivação e incentivo.

Aos familiares e amigos, pelo incentivo.

RESUMO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) é uma espécie nativa do sul do Brasil, onde desempenha um importante papel sócio-econômico. No entanto, existem poucas informações no que diz respeito à adubação da cultura. O objetivo do estudo foi avaliar a produtividade de dois clones de erva-mate na fase inicial de implantação do cultivo, em resposta a aplicação de P e S, bem como definir os níveis críticos destes nutrientes no solo e na planta. Foram conduzidos dois experimentos, um para cada nutriente, implantados em setembro de 2013 no município de Itaiópolis-SC (26°25'44" S e 49°55'45" O) em Cambissolo Húmico, de textura argilosa. Os 10 tratamentos do experimento de P resultaram da combinação de dois clones fêmeas (F1-BRS BLD Aupaba e F2) com 5 doses do nutriente. No experimento de S foram utilizados os mesmos clones, porém com 4 doses do nutriente, resultando em 8 tratamentos. Após a primeira colheita, em julho de 2015, os experimentos passaram a ser avaliados em intervalos de 18 meses, até janeiro de 2020, totalizando 4 colheitas. Foi avaliada a produtividade de folhas (FO), galhos finos (GF), galhos grossos (GG), erva comercial (COM) e biomassa total (TT). Foi calculado a porcentagem de FO em COM e o índice de colheita (IC). Na safra de 2020, foram coletadas amostras de solo para determinação do teor de P disponível nas camadas 0-10 e 10-20 cm, e S-SO₄²⁻ nas camadas 0-20 e 20-40 cm. Para avaliar o teor de P e S nas folhas, foram coletadas folhas do terço médio de três plantas por parcela. Os níveis críticos de P e S na folha e no solo foram obtidos através do ajuste de equações de regressão, relacionando o teor do nutriente com 90% do rendimento relativo. Na última safra no experimento do P, também foram avaliados os teores de N, K, P, Ca, Mg e S em FO, GF e GG. A produtividade da erva-mate aumentou com a adubação fosfatada e sulfatada em todas as safras avaliadas. A porcentagem de FO em COM e o IC não foram afetados pela adubação fosfatada e sulfatada. Os níveis críticos de P para os clones F1-BRS BLD Aupaba e F2 foram 8,72 e 9,32 mg dm⁻³ no solo e 1,06 e 1,14 g kg⁻¹ na planta, respectivamente. Os níveis críticos de S-SO₄²⁻ no solo foram de 10,6 e 7,8 nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente. As doses de S aplicadas não influenciaram o teor do nutriente na folha. A adubação fosfatada afeta os teores de P em FO, GF e GG e o de K e S em GF, além de aumentar o conteúdo de todos macronutrientes em COM e TT de erva-mate. A ordem decrescente da quantidade dos macronutrientes exportados pela erva mate foi N>K>Mg>Ca>P>S.

Palavras-chave: *Ilex paraguariensis*; nutrição da erva-mate; adubação da erva-mate; erva-mate clonal; extração e exportação.

ABSTRACT

Yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) is a species native to southern Brazil, where it plays an important environmental and socio-economic role. However, there is little information regarding the fertilization of the crop. The objective of the study was to evaluate the yield of two yerba mate clones in the initial phase of cultivation implementation, in response to the application of P and S, as well as to define the critical levels of these nutrients in the soil and in the plant. Two experiments were carried out, one for each nutrient, implemented in September 2013 in the municipality of Itaiópolis-SC (26°25'44"S and 49°55'45"W) in a clayey Humic Cambissolo. The 10 treatments of the P experiment resulted from the combination of two female clones (F1-BRS BLD Aupaba and F2) with 5 doses of the nutrient. In the S experiment, the same clones were used, but with 4 doses of the nutrient, resulting in 8 treatments. After the first harvest, in July 2015, the experiments started to be evaluated at intervals of 18 months, until January 2020, totaling 4 harvests. The yields of leaves (FO), fine twigs (GF), thick twigs (GG) and commercial (COM) were evaluated, being COM resulting from the sum of FO and GF. The percentage of FO in COM and the harvest index (CI) were calculated. In the 2020 harvest, soil samples were collected to determine the available P content in the 0-10 and 10-20 cm layers, and S-SO₄²⁻ in the 0-20 and 20-40 cm layers. To evaluate the P and S content in the leaves, leaves were collected from the middle third of three plants per plot. The critical levels of P and S in the leaf and in the soil were obtained through the adjustment of regression equations, relating the nutrient content to 90 % of the relative yield. In the last harvest in the P experiment, the contents of N, K, P, Ca, Mg and S in FO, GF and GG were also evaluated. Yerba mate yield increased with phosphate and sulfate fertilization in all evaluated crops. The percentage of FO in COM and CI were not affected by phosphate and sulfate fertilization. The critical levels of P for the F1-BRS BLD Aupaba and F2 clones were 8.72 and 9.32 mg dm⁻³ in soil and 1.06 and 1.14 g kg⁻¹ in the plant, respectively. The critical levels of S-SO₄²⁻ in the soil were 10.6 and 7.8 in the 0-20 and 20-40 cm layers, respectively. The applied doses of S did not influence the nutrient content in the leaf. Phosphate fertilization affects the levels of P in FO, GF and GG and that of K and S in GF, in addition to increasing the content of all macronutrients in COM and TT of yerba mate. The descending order of the amount of macronutrients exported by yerba mate was N>K>Mg>Ca>P>S.

Keywords: *Ilex paraguariensis*; yerba mate nutrition; fertilization of yerba mate; clonal yerba mate; extraction and export.

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 PRODUÇÃO DE MASSA VERDE DE ERVA COMERCIAL (COM) E BIOMASSA TOTAL (TT) DE ERVA-MATE EM FUNÇÃO DE DOSES DE ADUBAÇÃO FOSFATADA NAS SAFRAS DE 2015 (a, b), 2017 (c, d), 2018 (e, f) E 2020 (g, h), RESPECTIVAMENTE.....	21
GRÁFICO 2. TEOR DE P NO SOLO NAS CAMADAS 0-10 CM (a), 10-20 CM (b), 0-20 CM (c) E NA FOLHA (d) EM FUNÇÃO DE DOSES DE ADUBAÇÃO FOSFATADA.	25
GRÁFICO 3. PRODUÇÃO DE MASSA FRESCA COMERCIAL (COM) E TOTAL (TT) DE ERVA-MATE EM FUNÇÃO DE DOSES DE ENXOFRE NAS SAFRAS DE 2015 (a, b), 2017 (c, d), 2018 (e, f) E 2020 (g, h), RESPECTIVAMENTE.	41
GRÁFICO 4. TEOR DE S-SO ₄ ⁻ NO SOLO NAS CAMADAS 0-20 CM (A), 20-40 CM (B) EM FUNÇÃO DE DOSES DE ADUBAÇÃO SULFATADA.....	44

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. TEOR DE ARGILA E PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO NA CAMADA DE 0 A 20 CM DE PROFUNDIDADE NO LOCAL DOS EXPERIMENTOS, ANTES DA INSTALAÇÃO.	17
TABELA 2. DOSES DE FÓSFORO (P_2O_5) DE ACORDO COM O TRATAMENTO E FASE DE DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS DE ERVA-MATE.	18
TABELA 3. MÉDIAS DE PRODUTIVIDADE DE FOLHA, GALHO FINO, GALHO GROSSO E ERVA COMERCIAL ($Mg\ ha^{-1}$) DE CLONE DE ERVA-MATE EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA.....	21
TABELA 4. TEORES DE MACRONUTRIENTES ($g\ Kg^{-1}$) EM FOLHAS, GALHOS FINOS E GALHOS GROSSOS DE CLONES DE ERVA-MATE EM RESPOSTA A ADUBAÇÃO FOSFATADA.	28
TABELA 5. CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES ($g\ Kg^{-1}$) EM ERVA COMERCIAL (COM) E BIOMASSA TOTAL (TT) DE CLONES DE ERVA-MATE EM RESPOSTA A ADUBAÇÃO FOSFATADA.	29
TABELA 6. TEOR DE ARGILA E PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO NA CAMADA DE 0 A 20 CM DE PROFUNDIDADE NO LOCAL DOS EXPERIMENTOS, ANTES DA INSTALAÇÃO.	37
TABELA 7. DOSES DE ENXOFRE (S) DE ACORDO COM O TRATAMENTO E FASE DE DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS DE ERVA-MATE.	38
TABELA 8. MÉDIAS DE PRODUTIVIDADE DE FOLHA, GALHO FINO E GALHO GROSSO ($Mg\ ha^{-1}$) DE CLONES DE ERVA-MATE EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO SULFATADA.....	41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	11
2 CAPÍTULO 1: DOSES E NÍVEL CRÍTICO DE P PARA ERVA-MATE CLONAL ..	13
2.1 RESUMO	13
2.3 INTRODUÇÃO.....	15
2.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
2.6 CONCLUSÕES.....	30
2.7 REFERÊNCIAS	30
3 CAPÍTULO 2: APLICAÇÃO DE ENXOFRE EM ERVA-MATE CLONAL	
INFLUENCIA A PRODUTIVIDADE DO CULTIVO	34
3.1 RESUMO	34
3.2 ABSTRACT.....	35
3.3 INTRODUÇÃO.....	36
3.4 MATERIAL E MÉTODOS.....	37
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
3.6 CONCLUSÕES.....	45
3.7 REFERÊNCIAS	45
4 CONCLUSÃO GERAL	48
5 REFERÊNCIAS	49

1 INTRODUÇÃO GERAL

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill) é uma espécie nativa da região sul do Brasil, Paraguai e nordeste da Argentina. Seu consumo teve origem com os primeiros povos dessa região através da infusão das folhas em água quente. A tradição do consumo da erva-mate se estendeu até os dias de hoje, tendo uma grande importância cultural na região de origem. Atualmente, a principal forma de consumo da erva-mate é através do chimarrão (infusão com água quente) e o tereré (infusão com água fria). No entanto bebidas industrializadas, cosméticos e até suplementos alimentares têm sido elaborados com folhas da planta (CARDOZO JUNIOR e MORAND, 2016). No ano de 2019 a área colhida de erva-mate no Brasil foi de mais de 67 mil hectares (IBGE, 2020).

Os locais de ocorrência natural de erva-mate apresentam solos ácidos, com baixos teores de P e altos teores de Al disponível (TOPPEL et al., 2018; MOTTA et al., 2020), o que indica que essa espécie é tolerante a essas condições. Por esse motivo, por muito tempo a erva-mate foi considerada pouco exigente em fertilidade (REISSMANN et al., 1985; RADOMSKI et al., 1992). No entanto, estudos recentes têm revelado que essa espécie responde positivamente a adubação (SANTIN et al., 2008; SANTIN et al., 2013; OLIVA et al., 2014; SANTIN et al., 2017; BARBOSA et al., 2018).

Dentre os macronutrientes, o P e o S são os que se encontram em menor concentração nas folhas de erva-mate, com teores variando entre 0,8 e 2,1, e 1,6 e 2,1 g kg⁻¹, respectivamente (MOTTA et al., 2020). As funções do P na planta estão relacionadas a transferência e armazenamento de energia, enquanto o S é essencial na formação aminoácidos como a metionina e cisteína, além de ter papel importante na formação da clorofila (TAIZ e ZEIGER, 2013). No solo, a disponibilidade do P é afetada pela adsorção específica que ocorre entre o nutriente e óxidos e hidróxidos de Fe e de Al e pela interação que sofre com Fe, Al, Ca e Zn, o que indisponibiliza o nutriente para ser absorvido pela planta (ERNANI, 2016). Por sua vez, o S se encontra predominantemente na fração orgânica do solo e fica disponível para as plantas a partir de sua mineralização.

Trabalhos que avaliaram a resposta da erva-mate a adubação fosfatada no campo são escassos e de certa forma contraditórios. Pandolfo et al. (2003) não

verificaram aumento, enquanto Santin et al. (2013) verificaram aumento de produtividade em função da aplicação de P. Informações sobre a aplicação de S em erva-mate são inexistentes, sendo este nutriente muitas vezes esquecido em estudos sobre a nutrição da espécie. Dentro desse contexto, é de grande importância a definição dos níveis críticos de P e S no solo e nas folhas, a fim de determinar doses de fertilizantes a serem aplicadas para atender a demanda da erva-mate por esses nutrientes. Além disso, as adubações podem interferir na composição mineral da erva-mate, em amplitudes que variam com a genética das plantas cultivadas (SANTIN et al., 2013; BARBOSA et al., 2018).

O objetivo do estudo foi avaliar a produtividade de dois clones de erva-mate cultivados a campo, em resposta a aplicação de doses de P e S e os níveis críticos desses nutrientes no solo e nas folhas erva-mate, bem como a interferência da adubação com P e S na composição nutricional da erva-mate na fase de produção.

Esta dissertação está dividida em dois capítulos. Sendo:

- Capítulo I: DOSES E NÍVEL CRÍTICO DE P PARA ERVA-MATE CLONAL
- Capítulo II: APLICAÇÃO DE S EM ERVA-MATE CLONAL INFLUENCIA A PRODUTIVIDADE DO CULTIVO

2 CAPÍTULO 1: DOSES E NÍVEL CRÍTICO DE FÓSFORO PARA ERVA-MATE CLONAL

2.1 RESUMO

No Brasil, a dose de fósforo no cultivo de clones de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) ainda não está definida. Sendo assim, o objetivo do estudo foi verificar a produtividade de dois clones de erva-mate em resposta a aplicação de doses de P, bem como determinar o nível crítico do nutriente no solo e folhas de erva-mate. O estudo foi conduzido em um experimento implantado em setembro de 2013 em um Cambissolo Húmico, de textura argilosa, nas coordenadas 26°25'44" S e 49°55'45" O e altitude de 920 m, no Sul do Brasil. Foram avaliadas 5 doses do nutriente em dois clones fêmeas (F1-BRS BLD Aupaba e F2) de erva-mate, resultando em 10 tratamentos. As adubações realizadas no decorrer do experimento foram definidas como adubação de plantio/pós-plantio (0, 2,3; 4,5; 6,8 e 9,0 g planta⁻¹), formação de copa 1 (0, 10, 20, 30, 40 e 50 g planta⁻¹), formação de copa 2 (0, 15, 30, 45 e 60 g planta⁻¹) e de produção (0, 16,7; 33,3; 50,0; 66,7 kg ha⁻¹). Após a primeira colheita, em julho de 2015, as demais foram realizadas em intervalos de 18 meses, até janeiro de 2020. Foi avaliada a produtividade de folhas (FO), galhos finos (GF), galhos grossos (GG), erva comercial (COM) e biomassa total (TT). Foi calculado a porcentagem de FO em COM e o índice de colheita (IC). Na safra de 2020, foram coletadas amostras de solo para determinação do teor de P disponível nas camadas 0-10 e 10-20 cm. Para avaliar o teor e determinar o nível crítico de P nas folhas, foram coletadas folhas do terço médio de cinco plantas por parcela. Nesta safra, também foram avaliados os teores de N, K, P, Ca, Mg e S em FO, GF e GG. A produtividade dos dois clones aumentou com a adubação fosfatada em todas as safras avaliadas. Os clones responderam de maneira diferente às doses de P na safra de 2020. A maior produtividade de erva comercial foi obtida com a aplicação de 5,2, 24,5, 39,9 g planta⁻¹ de P₂O₅ nas safras 2015, 2017 e 2018, respectivamente e nas doses de 34,9 e 35,8 kg ha⁻¹ de P₂O₅, nos clones BRS BLD Aupaba e F2, respectivamente, na safra 2020. A porcentagem de FO em COM e o IC não foram afetados pela adubação fosfatada. A adubação fosfatada aumentou os teores de P em FO, GF e GG e o de K e S em GF, além de aumentar o conteúdo de todos macronutrientes em COM e TT de erva-mate. A ordem decrescente do macronutrientes mais exportados pela erva-mate foi N>K>Mg>Ca>P>S. Os níveis críticos de P para os clones BRS BLD Aupaba e F2 foram 5,2 e 6,3 mg dm⁻³ no solo e 1,03 e 1,11 g kg⁻¹ nas folhas, respectivamente. A erva-mate é exigente em P, expressando sua produtividade máxima na fase de plantio, formação de copa 1 e 2 e produção, quando aplicado anualmente doses de P₂O₅ em torno de 5, 25, 40 e 36 g planta⁻¹, respectivamente.

Palavras-chave: adubação de erva-mate; fertilidade do solo; teor foliar; macronutrientes.

2.2 ABSTRACT

In Brazil, the phosphorus dose in the cultivation of yerba mate clones (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) has not yet been defined. Thus, the objective of the study was to verify the yield of two yerba mate clones in response to the application of P doses, as well as to determine the critical level of the nutrient in yerba mate soil and leaves. The study was conducted in an experiment implemented in September 2013 in a clayey-textured Humic Cambisol, at coordinates 26°25'44"S and 49°55'45"W and altitude of 920 m, in southern Brazil. Five doses of the nutrient were evaluated in two female clones (F1-BRS BLD Aupaba and F2) of yerba mate, resulting in 10 treatments. The fertilizations carried out during the experiment were defined as fertilization at planting/post-planting (0, 2.3; 4.5; 6.8 and 9.0 g plant⁻¹), crown formation 1 (0, 10, 20, 30, 40 and 50 g plant⁻¹), canopy formation 2 (0, 15, 30, 45 and 60 g plant⁻¹) and production (0, 16.7; 33.3; 50.0; 66.7 kg ha⁻¹). After the first harvest, in July 2015, the others were carried out at intervals of 18 months, until January 2020. The yields of leaves (FO), fine twigs (GF), thick twigs (GG) and commercial grass (COM) were evaluated, resulting from the sum of FO and GF. The percentage of FO in COM and the harvest index (CI) were calculated. In the 2020 harvest, soil samples were collected to determine the available P content in the 0-10 and 10-20 cm layers. To evaluate the content and determine the critical level of P in the leaves, leaves were collected from the middle third of three plants per plot. In this season, the contents of N, K, P, Ca, Mg and S in FO, GF and GG were also evaluated. Yerba mate yield increased with phosphate fertilization in all evaluated crops. Clones responded differently to P doses in the 2020 harvest. The highest commercial herb yield was obtained with the application of 5.15, 24.53, 39.93 g plant⁻¹ of P₂O₅ in the 2015, 2017 and harvests. 2018, and 34.90 and 35.77 kg ha⁻¹ of P₂O₅ in clone BRS BLD Aupaba and Clone F2, respectively, in the 2020 harvest. The percentage of FO in COM and IC were not affected by phosphate fertilization. Phosphate fertilization increased the levels of P in FO, GF and GG and that of K and S in GF, in addition to increasing the content of all macronutrients in COM and TT of yerba mate. The descending order of the most exported macronutrients by yerba mate was N>K>Mg>Ca>P>S. Critical P levels for BRS BLD Aupaba and F2 clones were 5.2 and 6.3 mg dm⁻³ in soil and 1.03 and 1.11 g kg⁻¹ in leaves, respectively. Yerba mate is demanding in P, expressing its maximum productivity in the planting phase, formation of canopy 1 and 2 and production, when applied annually doses of P₂O₅ around 5, 25, 40 and 36 g plant⁻¹, respectively.

Keywords: yerba mate fertilization; soil fertility; leaf content; macronutrients.

2.3 INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) é uma espécie nativa do sul do Brasil, onde desempenha um importante papel sócio-econômico em vários municípios. A produção nacional no ano de 2019 foi de 880 mil toneladas, a qual se concentra no sul do país, sendo o Paraná o maior produtor (IBGE, 2020). As folhas e ramos da planta são as partes colhidas para, depois de sofrerem a transformação, serem destinadas ao consumo, sendo a principal forma, tradicionalmente, através do chimarrão (infusão com água quente) e do tererê (infusão com água fria). Outra forma de consumo da erva-mate é através do chá, produzido com folhas secas e tostadas da planta, o qual é consumido em países como Estados Unidos, Alemanha e Síria. Recentemente, tem sido elaborado através de folhas da planta cosméticos, bebidas energéticas e suplementos alimentares (CARDOZO JUNIOR e MORAND, 2016). A razão para o interesse na espécie é devida a seus compostos bioativos, os quais lhe conferem ação antioxidante, anti-inflamatória, diurética e propriedades energéticas (BERTÈ et al., 2011), além de seu valor nutricional (SOUZA et al., 2015).

A erva-mate ocorre naturalmente em solos de baixa fertilidade, pH baixo e com altos teores de alumínio (CARVALHO, 2003) e por conta disso, por muito tempo a espécie foi considerada pouco exigente nutricionalmente e a adubação foi uma prática dispensada pelos produtores. Mas trabalhos recentes têm demonstrado que a erva-mate responde positivamente à aplicação de nutrientes (RIBEIRO et al., 2008; BARBOSA et al., 2018). Santin et al. (2013) concluíram que a maximização do crescimento de plantas de erva-mate depende da boa disponibilidade de N, K e Ca no solo, além de altos teores de P. Recentemente variações clonais foram selecionadas e recomendadas para cultivo (WENDLING e SANTIN, 2015), o que também pode alterar a exigência nutricional e doses de nutrientes a serem aplicadas.

O P é fundamental nos processos de armazenamento e transferência de energia (MARSCHNER, 2012). Na erva-mate é o quinto nutriente mais absorvido (REISSMANN et al., 1985; SOUZA et al., 2008; OLIVA et al., 2014), sendo considerado pouco exigido pela cultura (REISSMANN et al., 1985; RADOMSKI et al., 1992). Porém, são comuns as respostas à sua aplicação, principalmente por mudas. Ceconi et al. (2007) e Santin et al. (2008) obtiveram aumento no crescimento de mudas de erva-mate com adubação fosfatada. Santin et al. (2013), verificaram maior crescimento de mudas quando o teor de P situava-se em nível muito alto no solo,

entre 18,5 e 28,6 mg dm⁻³, o que levou a crer que cultivos na fase de produção também poderiam responder de forma positiva ao aumento do teor deste nutriente no solo. No entanto, ainda são escassas e, de certa forma, contraditórias as informações sobre a demanda por P dos cultivos em condições de campo. Pandolfo et al. (2003) não observaram resposta à aplicação de P pela erva-mate, em fase de produção, em solo com disponibilidade de 4,2 mg dm⁻³ do nutriente, enquanto Santin et al. (2017), obtiveram aumento de produtividade com aplicação de fertilizante fosfatado, em solo com 1,32 mg dm⁻³ de P.

A baixa disponibilidade de P no solo faz com que a planta ative mecanismos próprios ou com outros organismos para aquisição deste nutriente, sendo um desses mecanismos, a exsudação de moléculas na rizosfera para solubilização de formas menos disponíveis de P. Em contrapartida, o fornecimento de P favorece o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, a exsudação radicular total de moléculas pode aumentar, podendo solubilizar também outros elementos. (VANCE et al., 2003; LIN et al., 2011). No entanto, a absorção de P e outros elementos pelas plantas irá depender do genótipo da planta e do tipo de solo (BARBOSA et al., 2018). Poucos estudos vêm sendo desenvolvidos a fim de determinar o efeito da adubação fosfatada na composição nutricional da erva-mate, especialmente em cultivos em fase de produção. Santin et al. (2013) e Barbosa et al. (2018) verificaram que a aplicação de P influenciou positivamente nos teores de N, P, K, Ca, Mg, Zn, Mn, Cu, Ni, B, Fe e Mo em folhas de mudas erva-mate.

Se tratando da prática da colheita da erva-mate, onde a maior parte do produto colhido é composto por folhas e galhos finos, a quantidade de nutrientes exportados da área de cultivo é significativamente elevado (REISSMANN et al., 1985, BISSO; SALET, 2000). Esta exportação de nutrientes por espécies perenes como a erva-mate, varia em função da época de colheita (CARON et al., 2014), procedência (OLIVA et al., 2015), cultivo a pleno sol ou à sombra (CARON et al., 2014) e tipo de poda (SOUZA et al., 2008). Dessa maneira, a quantificação dos elementos extraídos e exportados pelo erval pode auxiliar o manejo da fertilidade do solo e manutenção da produtividade e qualidade da erva-mate.

Sendo assim, os objetivos do trabalho foram determinar a contribuição da adubação fosfatada na produtividade e na composição nutricional de clones de erva-mate, bem como determinar o nível crítico de P no solo e nas folhas para manejo da adubação com este nutriente em áreas de cultivo.

2.4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em experimento a campo, implantado em setembro de 2013 no município de Itaiópolis-SC (26°25'44" S e 49°55'45" O, altitude 920 m). O solo da área experimental, de acordo com Embrapa (2012), é um Cambissolo Húmico, de textura argilosa e suas propriedades químicas e teor de argila, antes da instalação dos experimentos se encontram na Tabela 1. O clima da região, segundo a classificação de Koppen, é do tipo Cfb, sendo a temperatura média anual de 17,1 °C e a precipitação média anual de 1626 mm (ALVAREZ et al., 2013).

TABELA 1. TEOR DE ARGILA E PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO NA CAMADA DE 0 A 20 CM DE PROFUNDIDADE NO LOCAL DO EXPERIMENTO, ANTES DA INSTALAÇÃO.

pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al ³⁺	CTC	V	m	Argila	CO	P	K	S-SO ₄ ²⁻
H ₂ O	-----cmolc dm ⁻³ -----						-----%-----	g kg ⁻¹	g dm ⁻³		-----mg dm ⁻³ -----	
4,9	2,39	0,51	4,71	13,7	17,12	20	57,9	510	23,8	8,2	204	7,95

Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ (extraído com KCl 1 mol L⁻¹); S-SO₄²⁻ (extraído com fosfato monocálcico); H + Al³⁺ (extração com acetato de Ca 0,5 mol L⁻¹); carbono orgânico (CO) (método volumétrico dicromato de potássio); K⁺ e P (extrator Mehlich-1; relação solo:solução 1:10); argila (método do densímetro); CTC = capacidade de troca de cátions a pH 7,0; m = saturação por Al³⁺.

Os tratamentos resultaram da combinação dos clones fêmeas F1-BRS BLD Aupaba (Aupaba) e F2-ainda sem registro (F2) com 5 doses do nutriente, resultando em 10 tratamentos. Os clones tem origem de matriz proveniente de São Mateus do Sul-PR. As adubações realizadas no decorrer do experimento foram definidas como adubação de plantio/pós-plantio, formação de copa 1, formação de copa 2 e de produção, as quais foram aplicadas do plantio até a primeira colheita, entre a primeira e segunda, segunda e terceira e terceira e quarta colheita, respectivamente. As doses de cada tratamento estão descritas na Tabela 2. Nestas fases também foi aplicado N nas doses anuais de 7,5, 20 e 40 g planta⁻¹ e 120 kg ha⁻¹ e K₂O nas doses anuais de 4,8, 10, 25 g planta⁻¹ e 60 kg ha⁻¹, respectivamente. As adubações foram parceladas em duas, sendo metade da dose anual aplicada em fevereiro e metade em setembro. No momento do plantio, o adubo foi incorporado na cova a 15 dm⁻³ de solo. Todas as aplicações seguintes foram realizadas na projeção da copa da planta. Ainda foi

aplicado em superfície, antes da implantação do experimento, 3,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (CaO e MgO, respectivamente, de 31,6 e 20,3 %), em área total, para fornecimento de Ca e Mg às plantas. Para aplicação de N, P e K foram utilizados como fonte ureia (45% de N), superfosfato triplo (42 % de P₂O₅) e KCl (60% de K₂O), respectivamente.

TABELA 2. DOSES DE FÓSFORO (P₂O₅) DE ACORDO COM O TRATAMENTO E FASE DE CRESCIMENTO DAS PLANTAS DE ERVA-MATE.

Tratamento	Fase de crescimento da cultura			Produção
	Plantio / pós-plantio	Até primeira colheita	Da 1 ^a até 2 ^a colheita	
Doses de P ₂ O ₅				
	-----g planta ⁻¹ ano ⁻¹ -----			kg ha ⁻¹ ano ⁻¹
T1	0,0	0	0	0,0
T2	2,3	10	15	16,7
T3	4,5	20	30	33,3
T4	6,8	30	45	50,0
T5	9,0	40	60	66,7

Os tratamentos foram arranjados em esquema de parcela sub-dividida, sendo na parcela as doses do nutriente e na subparcela os clones de erva-mate. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, com 4 repetições, totalizando 20 parcelas. A unidade experimental foi constituída de 12 plantas úteis de cada clone, além de duas linhas de bordadura, compostas por plantas propagadas por sementes. O espaçamento entre plantas na linha foi de 2,0 m e entre linhas de 2,5 m.

Após a primeira colheita, em julho de 2015, o experimento passou a ser avaliado em intervalo de 18 meses, até janeiro de 2020, totalizando 4 colheitas. A biomassa colhida foi fracionada em folhas (FO), galhos finos (GF - ≤7 mm) e galhos grossos (GG - >7 mm), sendo a soma de FO + GF a biomassa comercial (COM). A quantificação da biomassa total (TT) produzida resultou da soma de COM e GG. A produtividade de cada colheita foi obtido multiplicando-se a biomassa comercial média produzida (massa verde) por planta e a população de plantas por hectare. Foi

calculado a relação FO/GF e o índice de colheita (IC), que foi obtido pela equação: $IC = (COM \times 100)/(FO+GF+GG)$.

Em janeiro de 2020, foi realizada a coleta de folhas para análise nutricional, coletando-se aleatoriamente 20 folhas totalmente expandidas em galhos com brotação do ano, no terço médio da copa (NEPAR, 2019), de 5 plantas representativas de cada parcela. Nesta colheita também foram coletadas amostras de folhas, galhos finos e galhos grossos de cada tratamento para determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S. Os materiais coletados foram secos em estufa à 60 °C até atingir peso constante, moídos em moinho de café e passados em peneira de 0,5 mm de abertura. O teor de N foi determinado a partir de 20 mg de amostra, por combustão seca, utilizando o analisador de elementos não metálicos. Para obtenção dos teores dos demais nutrientes, foi realizada digestão ácida (Martins & Reissmann, 2007) de 0,2 g de amostra seca em sistema fechado utilizando forno microondas com solução nitroperóxida - 2 ml de HNO₃, 1 ml de peróxido de hidrogênio e 1 ml de água ultrapura. A concentração de cada nutriente no extrato foi determinada em espectrometria de emissão ótica com plasma indutivamente acoplado (ICP-OES).

Após a colheita de janeiro de 2020, foi realizada coleta de solo com trado calador nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. A coleta foi realizada em 10 locais por parcela, na projeção da copa das plantas, e o solo coletado foi homogeneizado para compor uma amostra por parcela. As amostras foram secas em estufa e passadas em peneira de 2 mm a fim de obter o teor de P disponível por Mehlich-1 (Tedesco et al., 1995), sendo sua determinação por ICP-OES.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (Anova) e em caso de efeito significativo para doses, à análise de regressão. A dose de máxima eficiência técnica e o nível crítico de P nas folhas e no solo, foram obtidos, respectivamente, através da derivada das equações de regressão e relacionando o teor do nutriente nas folhas e no solo com 90% da máxima produtividade de COM obtido. Para determinação do nível crítico foram utilizados os dados da safra de janeiro de 2020, quando as plantas já se encontravam na fase de produção.

2.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve aumento na produção de COM e TT em função da adubação fosfatada em todas as safras avaliadas (GRÁFICO 1). Os clones responderam de maneira

diferente à aplicação de P apenas na safra de 2020 (GRÁFICOS 1g, h). Nesta safra, na ausência da aplicação de P, o clone F1 produziu menos FO, GG E COM em relação ao clone F2. Em contrapartida, foi mais produtivo na dose de máxima produtividade, podendo ser considerado mais responsivo a adubação fosfatada em relação ao F2. Os clones diferiram entre si na produtividade de GG na colheita de 2015, GF, FO e COM em 2017 e GG na colheita de 2018 (Tabela 3). A maior produtividade de COM foi obtida com a aplicação de 5,15, 24,53, 39,93 g planta⁻¹ de P₂O₅ nas safras 2015, 2017 e 2018, e 34,90 e 35,77 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no clone Aupaba e Clone F2, respectivamente na safra 2020. Estas doses resultaram na produtividade de 0,97, 3,92, 7,88, 14,12 e 15,78 Mg ha⁻¹ de erva mate COM. A produtividade obtida na fase de produção (colheita 2020) foi o dobro em relação à média brasileira, de 7,7 Mg ha⁻¹ (IBGE, 2020).

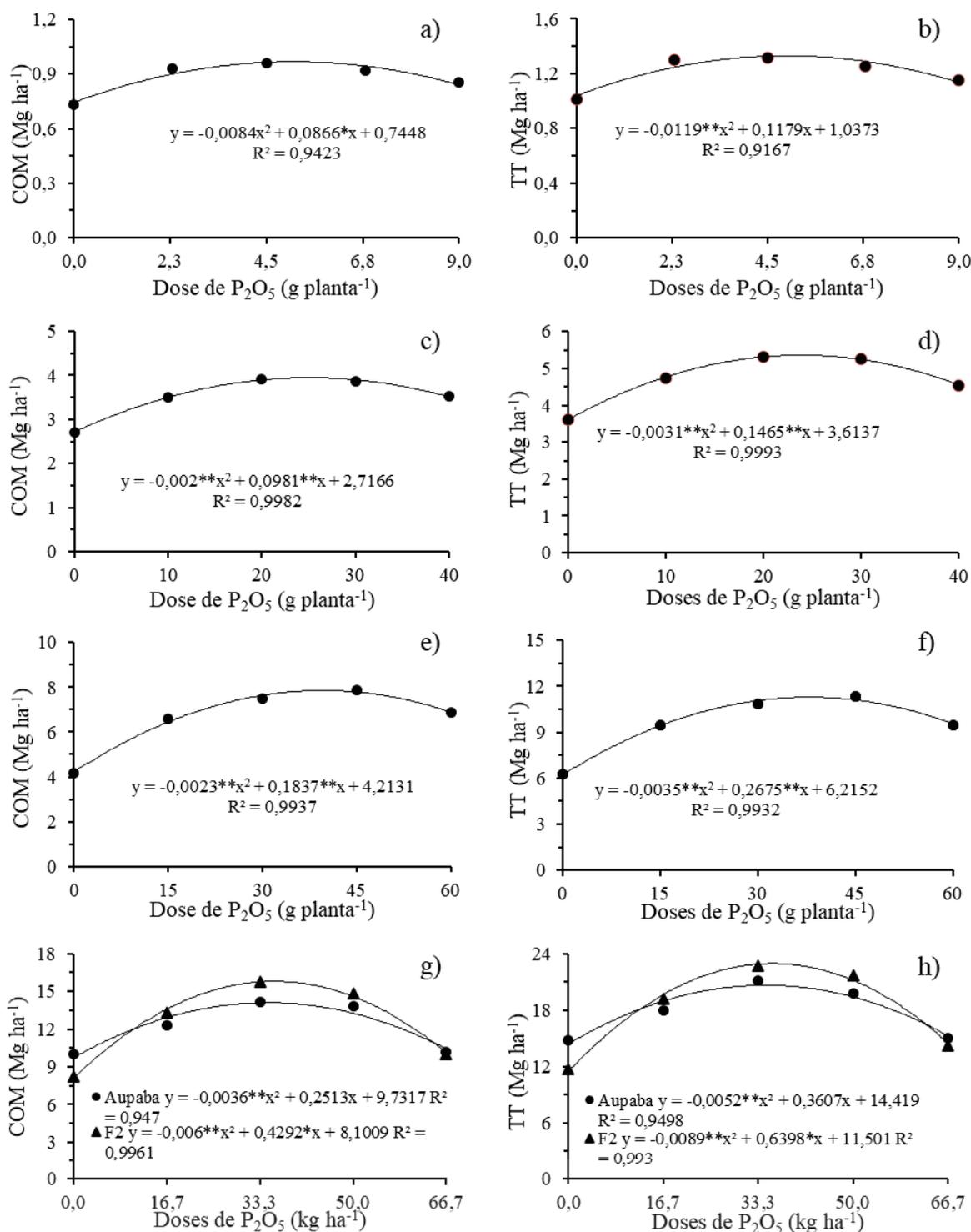


GRÁFICO 1 PRODUÇÃO DE MASSA VERDE DE ERVA COMERCIAL (COM) E BIOMASSA TOTAL (TT) DE ERVA-MATE EM FUNÇÃO DE DOSES DE ADUBAÇÃO FOSFATADA NAS SAFRAS DE 2015 (a, b), 2017 (c, d), 2018 (e, f) E 2020 (g, h), RESPECTIVAMENTE.

** e *, respectivamente, significativo a 1 e 5 % de probabilidade.

TABELA 3. MÉDIAS DE PRODUTIVIDADE DE FOLHA, GALHO FINO, GALHO GROSSO E ERVA COMERCIAL (Mg ha⁻¹) DE CLONE DE ERVA-MATE EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO FOSFATADA.

Safra 2015

Componente	Clone	Doses de P ₂ O ₅ (g planta ⁻¹)					Média / Eq.	R ²
		0	2,3	4,5	6,8	9,0		
FO	Aupaba	0,54	0,71	0,74	0,69	0,64	0,66	0,92
	F2	0,59	0,73	0,77	0,72	0,69	0,70	
	Média	0,57	0,72	0,75	0,70	0,66	Q*	
GF	Aupaba	0,16	0,21	0,21	0,20	0,18	0,19	0,92
	F2	0,17	0,21	0,20	0,22	0,20	0,20	
	Média	0,16	0,21	0,21	0,21	0,19	Q**	
GG	Aupaba	0,28	0,40	0,39	0,35	0,31	0,35a	0,83
	F2	0,28	0,34	0,32	0,31	0,30	0,31b	
	Média	0,28	0,37	0,36	0,33	0,30	Q**	
Safrá 2017								
		Doses de P ₂ O ₅ (g planta ⁻¹)						
		0	10	20	30	40		
FO	Aupaba	1,97	2,80	2,84	2,98	2,49	2,62b	0,99
	F2	2,34	2,78	3,27	3,06	3,03	2,90a	
	Média	2,15	2,79	3,06	3,02	2,76	Q**	
GF	Aupaba	0,52	0,74	0,81	0,79	0,67	0,71b	0,99
	F2	0,59	0,71	0,90	0,90	0,86	0,79a	
	Média	0,56	0,72	0,86	0,85	0,77	Q**	
GG	Aupaba	0,80	1,26	1,34	1,41	0,88	1,14	0,97
	F2	1,04	1,20	1,47	1,38	1,15	1,25	
	Média	0,92	1,23	1,41	1,39	1,02	Q*	
Safrá 2018								
		Doses de P ₂ O ₅ (g planta ⁻¹)						
		0	15	30	45	60		
FO	Aupaba	3,05	4,80	5,30	5,82	5,43	4,88	0,99
	F2	3,17	5,00	6,13	6,09	5,07	5,09	
	Média	3,11	4,90	5,71	5,95	5,25	Q**	
GF	Aupaba	1,00	1,56	1,86	1,90	1,64	1,59	0,96
	F2	1,13	1,79	1,67	1,95	1,61	1,63	
	Média	1,07	1,68	1,76	1,92	1,63	Q**	
GG	Aupaba	2,02	2,73	2,96	3,16	2,66	1,70b	0,96
	F2	2,12	3,01	3,83	3,79	2,53	3,06a	
	Média	2,07	2,87	3,40	3,48	2,60	Q**	
Safrá 2020								
		Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)						
		0	16,7	33,3	50	66,7		
FO	Aupaba	7,21a	8,96a	10,53a	10,02a	7,22a	Q**	0,95
	F2	6,12b	9,81a	11,23a	10,94a	7,13a	Q**	
	Média	-	-	-	-	-	-	
GF	Aupaba	2,81	3,36	3,61	3,78	2,94	3,30	0,98
	F2	2,11	3,52	4,54	3,91	2,87	3,39	
	Média	2,46	3,44	4,08	3,85	2,90	Q**	
GG	Aupaba	4,81a	5,67a	6,99a	5,96a	4,88a	Q**	0,87
	F2	3,50b	5,94a	7,02a	6,92a	4,24a	Q**	
	Média	-	-	-	-	-	-	

Eq = equação; Q = equação quadrática; ** e *, respectivamente, significativo a 1 e 5% de probabilidade; médias com letras diferentes diferem entre si para clones (Anova p<0,05)

Embora a erva-mate tenha sido considerada pouco exigente em fertilidade (REISSMANN et al., 1985; RADOMSKI et al., 1992), o presente estudo comprova que

a espécie responde a aplicação de P desde a fase de implantação até a fase de produção da cultura, com aumentos entre 30 e 95 % em relação a ausência de aplicação do nutriente. Resultados semelhantes foram observados por Ceconi et al. (2007) e Santin et al. (2017). No entanto, este é o primeiro estudo que revela clones de erva-mate respondendo a adubação em condições de campo. Barbosa (2018) observou resposta a aplicação de P em clones de erva-mate em casa de vegetação.

Este aumento de produtividade proporcionado pela adubação fosfatada não afetou a porcentagem de FO em COM, o que indica que a produtividade de FO e GF aumentou proporcionalmente. Nas safras de 2015, 2017, 2018 e 2020 as médias da porcentagem de FO em COM foram 77,6, 78,6, 75,6 e 72,7 %, respectivamente. Vale ressaltar que esse é um parâmetro de interesse da indústria, tendo em vista que a maior parte dos compostos químicos da espécie se concentram nas folhas (SOUZA et al., 2015). No entanto, a adubação fosfatada não parece influenciar a porcentagem de FO em COM, assim como Santin et al. (2017) também não verificaram influência do nutriente nessa relação.

O IC da erva-mate não foi afetado pelas doses de P. As médias foram de 72,7; 74,7; 69,5 e 68,9 para as safras de 2015, 2017, 2018 e 2020, respectivamente. Esse resultado contrapõe os observados por Santin et al. (2017), onde o IC diminuiu com o aumento das doses de P. Os clones diferiram entre si apenas na safra de 2015, quando o clone Aupaba apresentou média 71,2 e o F2 de 74,3. Esse resultado demonstra que o clone Aupaba, até a primeira colheita, destina maior quantidade de energia na produção de galhos grossos para sustentar a produção de COM em relação a F2. Isso leva a crer que o IC da erva-mate é uma característica que pode ser afetada pela idade e genética da planta, podendo haver materiais em que o IC é influenciado pela adição de nutrientes. No entanto, é importante ressaltar que maiores valores de IC são mais interessantes ao produtor, já que IC mais elevado significa maior porcentagem do total colhido comercializado.

A adubação fosfatada aumentou a disponibilidade de fósforo no solo na camada de 0-20 cm (GRÁFICO 2), sendo o maior teor observado de 41,9 mg dm⁻³. O aumento mais acentuado ocorreu na camada 0-10 cm (GRÁFICO 2), com o teor de P atingindo 75,8 mg dm⁻³, porém, houve também aumento na disponibilidade do nutriente na camada de 10-20 cm na maior dose de P₂O₅ aplicada (GRÁFICO 2). A adsorção específica que ocorre entre o P e os óxidos e hidróxidos de Fe e Al no solo faz com que a mobilidade do nutriente no perfil seja reduzida (NOVAIS et al., 2007),

o que justifica o maior acúmulo do nutriente aplicado na camada de 0-10 cm. Sendo assim, em sistemas onde não há revolvimento do solo, o aumento esperado no teor de P na camada 10-20 cm é menos expressivo. Corroborando os dados obtidos neste trabalho, Galetto (2016) também verificou aumento no teor de P nessa camada com aplicação de doses de P em sistema de plantio direto. Vale ressaltar que tanto neste tipo de sistema quanto em plantios de espécies florestais como é o caso da erva-mate, não há revolvimento de solo. Adubações sucessivas em altas doses de P causam a saturação dos sítios de adsorção de maior energia desse nutriente, fazendo com que a fração do nutriente ligada com menor grau de energia ao solo possa ser deslocada para a solução do solo mais facilmente (ERNANI, 2016). Sendo assim, o aumento no teor de P na camada 10-20 cm observado neste trabalho pode ter ocorrido pelo descolamento de P ocasionado pela saturação dos sítios de adsorção da camada de 0-10 cm. Vale ressaltar que no tratamento com ausência da aplicação de P, o teor do nutriente observado no solo de $3,9 \text{ mg dm}^{-3}$, na camada de 0-20 cm, foi menor que o teor antes da implantação do experimento, de $8,2 \text{ mg dm}^{-3}$, evidenciando a exportação do nutriente através das colheitas realizadas ao longo do estudo.

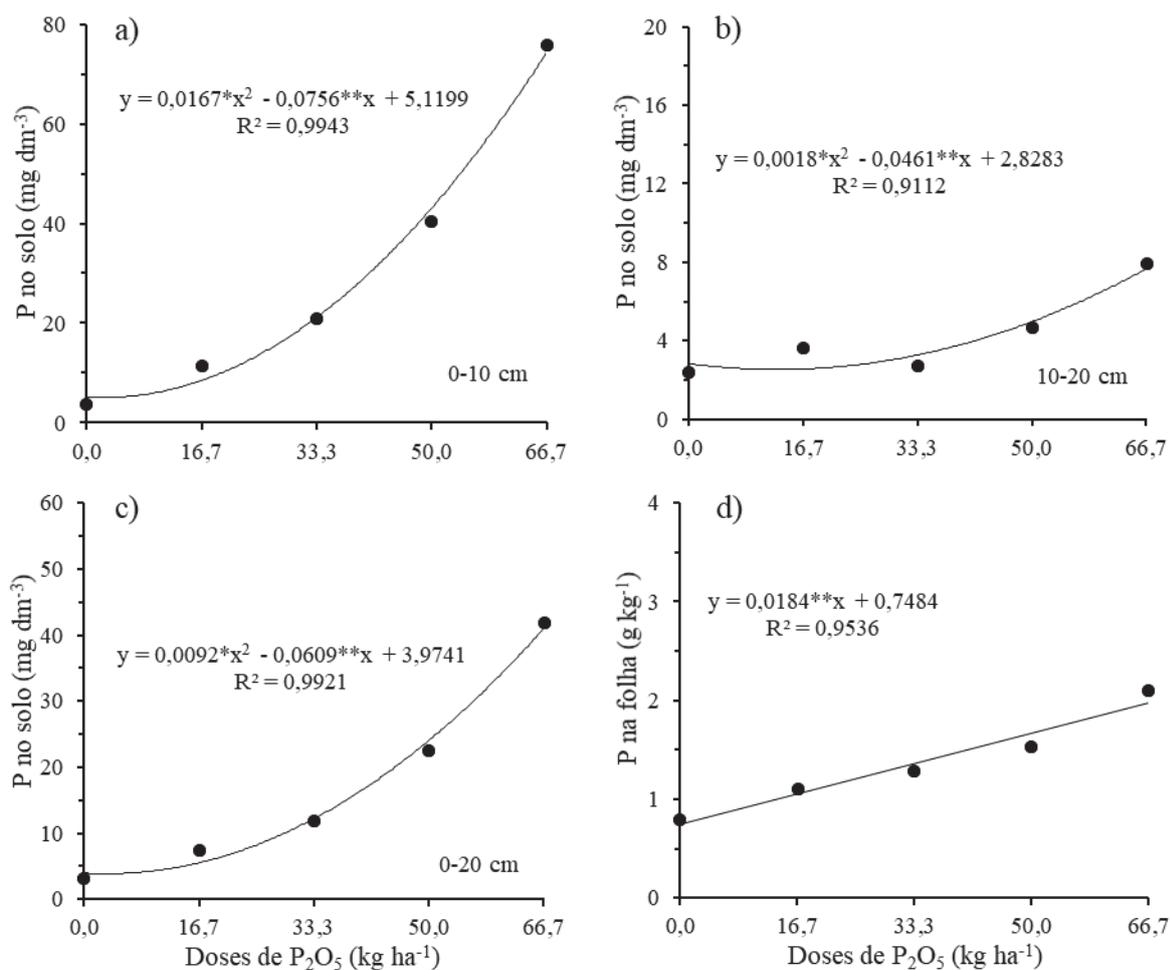


GRÁFICO 2. TEOR DE P NO SOLO NAS CAMADAS 0-10 cm (a), 10-20 cm (b), 0-20 cm (c) E NA FOLHA (d) EM FUNÇÃO DE DOSES DE ADUBAÇÃO FOSFATADA.

** e *, respectivamente, significativo a 1 e 5% de probabilidade.

O nível crítico de P no solo na camada 0-20 cm, extraído por Melich-1, foi de 5,2 e 6,3 mg dm⁻³ para os clones Aupaba e F2, respectivamente (FIGURA 1). Motta et al. (2020), avaliando a fertilidade do solo de 30 ervais nativos, verificaram níveis baixos e muito baixos de P (NEPAR, 2019) em mais de 90 % dos locais avaliados, com grande parte das amostras apresentando teores abaixo de 2 mg dm⁻³. Levando em consideração que essa modalidade de erval é bastante representativa e até mesmo preferível pela indústria ervateira (MARQUES, 2014), assume-se que, dentre outros fatores, teor muito baixo de P no solo é um dos fatores que contribuem para a baixa produtividade média brasileira de erva-mate, de 7,7 Mg ha⁻¹ (IBGE, 2020). Neste trabalho, a elevação dos teores de P no solo para 5,2 e 6,3 mg dm⁻³ proporcionaram produtividade de 12,7 e 14,2 Mg ha⁻¹, respectivamente, para os clones Aupaba e F2. Esses resultados sugerem que teores altos de P para espécies

florestais descritas em NEPAR (2019) são adequados para obtenção de altas produtividades de erva-mate em fase de produção.

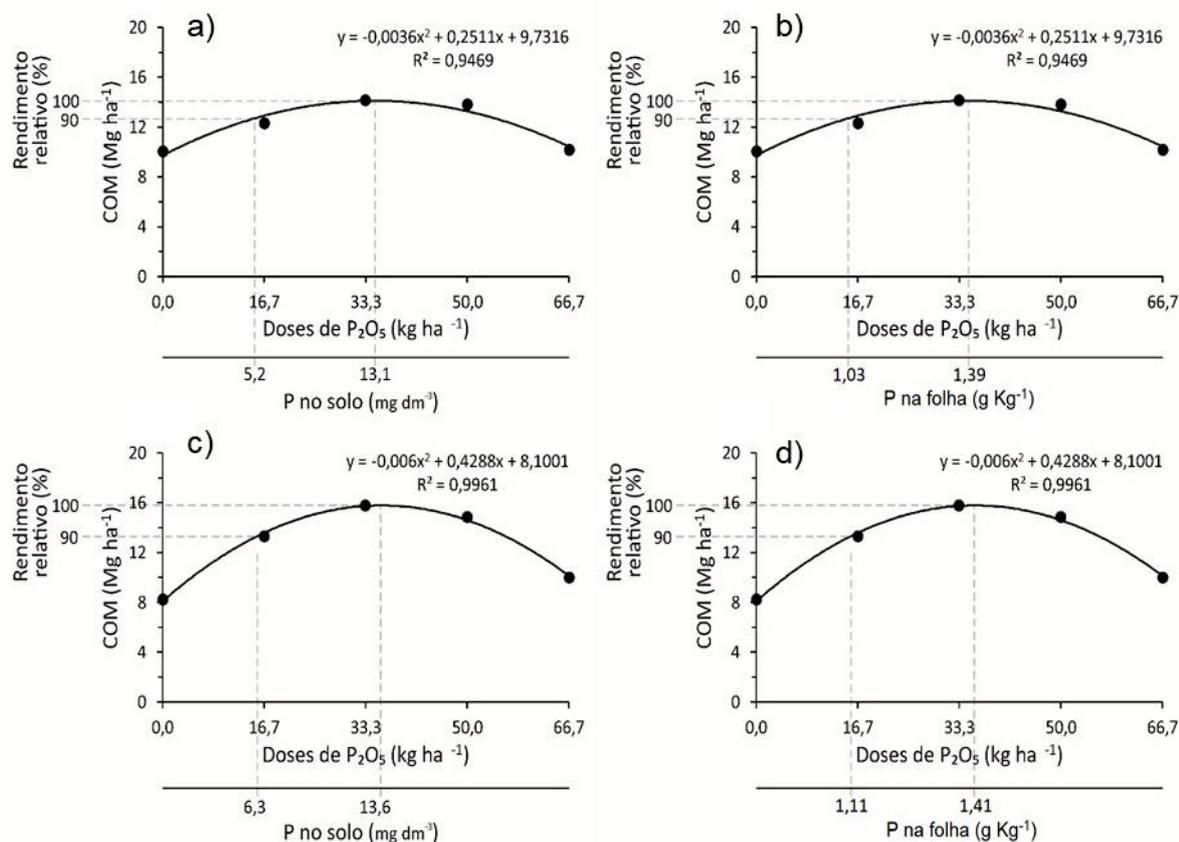


FIGURA 1. NÍVEL CRÍTICO DE P NO SOLO E NA FOLHA PARA OS CLONES AUPABA (a, b) E F2 (c,d), RESPECTIVAMENTE.

A adubação fosfatada aumentou linearmente o teor de P nas folhas de erva-mate (GRÁFICO 2). Os teores obtidos variaram entre 0,75 e 1,97 g kg⁻¹. Santin et al. (2017) também observaram esse mesmo efeito, com teores variando entre 1,26 e 1,47 g kg⁻¹. Barbosa et al. (2018) verificaram aumento de 0,6 para 1,2 g kg⁻¹ de P nas folhas de erva-mate quando foi aplicado P. Nos primeiros trabalhos que abordaram a composição nutricional da espécie, teores de 1,1 g kg⁻¹ (REISSMANN et al., 1983) e 1,4 g kg⁻¹ (REISSMANN et al., 1985) foram considerados baixos pelos autores. O nível crítico de P nas folhas de erva-mate para os clones Aupaba e F2, respectivamente, foram de 1,03 e 1,11 g kg⁻¹ (FIGURA 1). Em levantamento realizado em 30 locais por Motta et al. (2020), os teores de P nas folhas de erva-mate variaram de 0,81 a 2,01 g kg⁻¹, sendo o maior teor observado quando o teor do nutriente no solo era de 134 mg dm⁻³, o que demonstra que o teor desse nutriente é naturalmente

baixo nessa espécie. Considerando os dados destes autores, 19 dos 30 locais avaliados apresentaram teores abaixo do nível crítico obtido neste trabalho, fato atribuído a baixa disponibilidade de P verificada nos solos dos locais avaliados. Esses dados demonstram que altas produtividades de erva-mate dependem de boa disponibilidade de P no solo e conseqüentemente, do teor adequado do nutriente na folha.

Não ocorreu interação entre os fatores sobre os teores dos nutrientes nos compartimentos da biomassa colhida da erva-mate. No entanto, a adubação fosfatada aumentou os teores de P em FO, GF e GG e o de K e S em GF (Tabela 4). O aumento nos teores de P pode ser explicado pelo aumento da disponibilidade do nutriente no solo (GRÁFICO 2). Os clones diferiram entre si apenas nos teores de P em FO. Essa diferença entre os clones corrobora com os resultados obtidos por Oliva et al. (2015), revelando diferenças na composição nutricional entre distintos materiais genéticos. Além do P, Santin et al. (2013) e Barbosa et al. (2018) verificaram que a adubação fosfatada influenciou nos teores de N, K, Ca e Mg em folhas de mudas erva-mate, contrapondo os resultados observados neste estudo. Essa diferença pode ter ocorrido em função da idade da planta, já que as plantas avaliadas pelos autores citados tinham 120 e 210 dias, respectivamente, enquanto as avaliadas no presente trabalho tinham 7 anos. Aliado a isso, materiais genéticos respondem de maneira diferente a adubação fosfatada, podendo haver ou não mudanças na composição nutricional das folhas das plantas (BARBOSA et al., 2018). Trabalhando com doses de N em erva-mate, Ribeiro et al. (2018) verificaram alteração nos teores dos nutrientes nas folhas apenas na avaliação realizada no inverno, não sendo verificada influência da aplicação do nutriente nesse parâmetro no verão. Sendo assim, os autores sugerem que o inverno seja mais representativo para demonstrar efeitos ocasionados pela adubação. Neste trabalho, a coleta dos componentes da biomassa da erva-mate para avaliação da composição nutricional foi realizada no verão. O que também pode ter contribuído para ausência de resposta às doses de P é o fato de ter sido realizado aplicação de calcário dolomítico (CaO e MgO, respectivamente, de 31,6 e 20,3 %) antes da implantação do experimento, além da adubação com N e K junto com a aplicação dos tratamentos, proporcionando o fornecimento desses nutrientes para a erva-mate.

TABELA 4. TEORES DE MACRONUTRIENTES (g kg⁻¹) EM FOLHAS, GALHOS FINOS E GALHOS GROSSOS DE CLONES DE ERVA-MATE EM RESPOSTA A ADUBAÇÃO FOSFATADA.

Nutriente	Clone	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)					Média / Eq.	R ²
		0	16,7	33,3	50	66,7		
Folha								
N	Aupaba	24,42	22,22	23,17	24,30	20,61	22,94	-
	F2	22,84	21,37	23,16	23,61	21,98	22,59	
	Média	23,64	21,80	23,16	23,96	21,30	22,67 ^{ns}	
P	Aupaba	0,98	1,38	1,73	2,08	2,33	1,70a	0,93
	F2	0,96	1,61	1,4	1,64	1,98	1,52b	
	Média	0,97	1,50	1,57	1,86	2,16	L**	
K	Aupaba	15,06	13,83	16,83	15,04	15,17	15,19	-
	F2	14,82	16,26	15,52	14,23	14,69	15,10	
	Média	14,92	15,04	16,17	14,63	14,93	15,14 ^{ns}	
Ca	Aupaba	5,87	5,78	6,73	6,24	5,53	6,03	-
	F2	5,24	5,63	5,42	6,65	5,84	5,76	
	Média	5,55	5,7	6,07	6,44	5,68	5,89 ^{ns}	
Mg	Aupaba	5,96	6,38	6,36	6,69	6,29	6,34	-
	F2	6,18	5,98	6,08	6,8	6,32	6,27	
	Média	6,07	6,18	6,22	6,75	6,3	6,30 ^{ns}	
S	Aupaba	1,05	0,98	1,11	1,15	0,96	1,05	-
	F2	1,03	1,01	1,11	1,07	1,03	1,05	
	Média	1,04	1,00	1,11	1,11	1,00	1,05 ^{ns}	
Galho fino								
N	Aupaba	8,75	9,08	8,56	9,23	8,18	8,76	-
	F2	8,86	8,06	9,82	8,74	8,82	8,86	
	Média	8,81	8,57	9,19	8,98	8,50	8,81 ^{ns}	
P	Aupaba	0,99	1,77	1,93	2,17	1,99	1,77	0,92
	F2	1,18	1,74	1,81	2,1	1,75	1,72	
	Média	1,09	1,76	1,87	2,14	1,87	Q**	
K	Aupaba	13,14	13,06	15,16	14,36	12,97	13,74	0,96
	F2	12,95	13,79	13,55	14,32	13,42	13,61	
	Média	13,05	13,43	14,36	14,34	13,20	Q*	
Ca	Aupaba	4,19	3,7	3,6	4,36	3,94	3,958	-
	F2	4,14	3,73	4,11	4,52	4,59	4,218	
	Média	4,17	3,72	3,86	4,44	4,27	4,09 ^{ns}	
Mg	Aupaba	3,71	3,8	3,13	4,15	4,1	3,79	-
	F2	3,58	3,28	4,02	3,79	4,03	3,74	
	Média	3,65	3,54	3,58	3,97	4,07	3,76 ^{ns}	
S	Aupaba	0,73	0,8	0,88	0,83	0,69	0,79	0,88
	F2	0,72	0,74	0,8	0,83	0,66	0,75	
	Média	0,73	0,77	0,84	0,83	0,68	Q*	
Galho grosso								
N	Aupaba	6,49	6,31	6,40	6,39	5,88	6,29	-
	F2	6,66	6,69	6,27	6,48	7,49	6,72	
	Média	6,57	6,50	6,34	6,43	6,68	6,51 ^{ns}	
P	Aupaba	0,61	1,1	1,18	1,2	1,21	1,06	0,87
	F2	0,62	1,14	1,21	1,27	1,27	1,10	
	Média	0,62	1,12	1,20	1,24	1,24	Q**	
K	Aupaba	9,46	9,05	9,36	9,14	9,09	9,22	-
	F2	9,44	9,79	10,23	9,35	9,74	9,71	
	Média	9,45	9,42	9,80	9,25	9,42	9,47 ^{ns}	
Ca	Aupaba	4,19	3,95	4,24	4,24	3,11	3,95	-
	F2	3,84	3,39	3,95	4,04	4,72	3,99	
	Média	4,02	3,67	4,10	4,14	3,92	3,97 ^{ns}	
Mg	Aupaba	2,21	2,66	2,12	2,31	1,93	2,25	-
	F2	2,41	2,19	2,17	2,33	2,57	2,33	
	Média	2,31	2,43	2,15	2,32	2,25	2,29 ^{ns}	
S	Aupaba	0,39	0,44	0,42	0,4	0,4	0,41	-
	F2	0,39	0,45	0,48	0,46	0,46	0,45	

Média	0,39	0,45	0,45	0,43	0,43	0,43 ^{ns}	-
-------	------	------	------	------	------	--------------------	---

Eq = equação; L = equação linear; Q = equação quadrática; ns = regressão não significativa; ** e *, respectivamente, significativo a 1 e 5% de probabilidade; médias com letras diferentes diferem entre si para clones (Anova $p < 0,05$)

O conteúdo de todos os nutrientes em COM e TT aumentou com a adubação fosfatada (Tabela 5). Esse efeito foi proporcionado pelo aumento de produtividade ocasionado pela aplicação de P. Considerando a maior produtividade de massa seca de TT dos clones Aupaba e F2, de 7,7 e 8,5 Mg ha⁻¹, respectivamente, o conteúdo de N, P, K, Ca, Mg e S foi de 115,6; 12,3; 100,5; 39,9; 34,8; 6,3 e 125,7; 12,8; 112,7; 41,4; 37,7; 6,9 kg ha⁻¹, respectivamente. Considerando apenas COM, cujas máximas produtividades de MS foram de 4,6 e 5,1 Mg ha⁻¹, para os clones Aupaba e F2, respectivamente, esses valores foram de 97,4; 9,1; 75,6; 28,0; 28,3; 5,1 e 106,7; 9,2; 83,3; 30,0; 31,0 e 5,5 kg ha⁻¹. A ordem decrescente de quantidade absorvida pela erva-mate dos macronutrientes foi N>K>Ca>Mg>P>S, enquanto os mais exportados com a COM foram N>K>Mg>Ca>P>S. Esses dados também indicam que a exportação de N, P, K, Ca, Mg e S é 59,8; 84,3; 74,0; 75,2; 70,2; 81,2 e 60,2; 84,9; 71,5; 73,9; 72,5; 82,2 %, respectivamente, em relação ao total extraído pela planta.

TABELA 5. CONTEÚDO DE MACRONUTRIENTES (g kg⁻¹) EM ERVA COMERCIAL (COM) E BIOMASSA TOTAL (TT) DE CLONES DE ERVA-MATE EM RESPOSTA A ADUBAÇÃO FOSFATADA.

Nutriente	Clone	Doses de P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)					Média / Eq.	R ²
		0	16,7	33,3	50	66,7		
COM								
N	Aupaba	71,59	86,42	93,09	100,10	62,24	Q**	0,91
	F2	58,72	83,92	109,36	102,32	63,76	Q**	0,91
	Média	-	-	-	-	-		-
P	Aupaba	3,46	6,81	8,34	10,24	8,16	7,40	
	F2	3,06	7,70	8,51	9,01	6,54	6,96	
	Média	3,26	7,26	8,42	9,63	7,35	L**	0,77
K	Aupaba	51,54	60,91	77,75	72,44	53,05	Q**	0,98
	F2	43,36	72,88	84,86	73,04	49,17	Q**	0,96
	Média							-
Ca	Aupaba	19,16	23,56	28,14	27,81	18,40	23,41	
	F2	14,94	23,98	28,30	31,57	18,88	23,53	
	Média	17,05	23,77	28,22	29,69	18,64	Q**	0,99
Mg	Aupaba	19,05	25,44	26,30	29,36	20,40	Q**	0,92
	F2	16,65	24,73	30,86	31,15	19,68	Q**	0,93
	Média	-	-	-	-	-	-	-

S	Aupaba	3,42	4,26	4,97	5,22	3,23	Q**	0,93
	F2	2,89	4,38	5,76	5,18	3,22	Q**	0,94
	Média	-	-	-	-	-	-	-
TT								
N	Aupaba	84,37	100,93	112,50	116,92	74,82	97,91	
	F2	68,55	99,83	127,83	121,36	77,33	98,98	
	Média	76,46	100,38	120,46	119,14	76,08	Q**	0,92
P	Aupaba	4,63	9,38	11,82	13,30	10,78	9,98	
	F2	4,00	10,43	12,11	12,74	8,84	9,62	
	Média	4,32	9,91	11,97	13,02	9,81	L**	0,79
K	Aupaba	70,35a	81,94b	105,97a	96,29a	72,53a	Q**	0,96
	F2	57,24a	96,34a	114,79a	100,56a	66,54b	Q**	0,97
	Média	-	-	-	-	-	-	-
Ca	Aupaba	27,52	32,69	40,97	38,69	25,04	32,98	
	F2	20,59	32,03	40,00	43,38	27,35	32,67	
	Média	24,06	32,36	40,49	41,04	26,19	Q**	0,99
Mg	Aupaba	23,45a	31,49a	32,65b	35,50a	24,52a	Q**	0,92
	F2	20,17a	29,91a	37,26a	37,94a	24,32a	Q**	0,93
	Média	-	-	-	-	-	-	-
S	Aupaba	4,20a	5,28a	6,25b	6,30a	4,10a	Q*	0,91
	F2	3,49b	5,47a	7,20a	6,53a	4,07a	Q**	0,96
	Média	-	-	-	-	-	-	-

Eq = equação; L = equação linear; Q = equação quadrática; ns = regressão não significativa; ** e *, respectivamente, significativo a 1 e 5% de probabilidade; médias com letras diferentes diferem entre si para clones (Anova $p < 0,05$)

2.6 CONCLUSÕES

A erva-mate é exigente em P, expressando sua produtividade máxima na fase de plantio, formação de copa 1 e 2 e produção, quando aplicado anualmente doses de P_2O_5 em torno de 5, 25, 40 e 36 g planta⁻¹, respectivamente.

O nível crítico de P no solo na camada 0-20 cm, extraído por Melich-1, foi de 5,2 e 6,3 mg dm⁻³, e na folha foi de 1,03 e 1,11 g kg⁻¹, para os clones Aupaba e F2, respectivamente.

A adubação fosfatada afeta os teores de P em FO, GF e GG e o de K e S em GF, além de aumentar o conteúdo de todos macronutrientes em COM e TT de erva-mate. A ordem decrescente da quantidade dos macronutrientes exportados pela erva mate foi N>K>Mg>Ca>P>S.

2.7 REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., DE MORAES GONÇALVES, J. L., SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BARBOSA, J. Z., MOTTA, A. C., CONSALTER, R., POGGERE, G. C., SANTIN, D., WENDLING, I. Plant growth, nutrients and potentially toxic elements in leaves of yerba mate clones in response to phosphorus in acid soils. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 2018, 90.1: 557-571.

BERTÉ, K. A., BEUX, M. R., SPADA, P. K., SALVADOR, M., HOFFMANN-RIBANI, R. hemical composition and antioxidant activity of yerba-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil., Aquifoliaceae) extract as obtained by spray drying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 59, n. 10, p. 5523-5527, 2011.

BISSO, F.P.; SALET, R.L. Exportações de nutrientes pela poda da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Santa Maria: Departamento de Solos UFSM, 2000.

CARON, B. O., SANTOS, D. R. D., SCHMIDT, D., BASSO, C. J., BEHLING, A., ELOY, E., BAMBERG, R. Biomassa e acúmulo de nutrientes em *Ilex paraguariensis* A. St. Hil. *Ciência Florestal*, v. 24, n. 2, p. 267-276, 2014.

CARVALHO, P. H. R. Espécies Arbóreas Brasileiras. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003.

CECONI, D.E.; POLETTO. I.; LOVATO. T.; MUNIZ, M.F.B. Exigência nutricional de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* a. St.-Hil.) à adubação fosfatada. *Ciência Florestal*, v. 17, n. 1, p. 25-32, 2007.

ERNANI, P. R. Química do solo e disponibilidade de nutrientes. 2.ed. Lages: O autor, 2016. 256p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2018. Banco de Dados Agregados, sistema IBGE de recuperação automática SIDRA. Disponível em: <Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br> >. Acesso em: 03 de dezembro de 2020.

GALETTO, S. L. Eficiência da adubação fosfatada influenciada pela aplicação de gesso agrícola em sistema plantio direto (Tese). Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2016.

LIN Z.H., CHEN L. S., CHEN R. B., ZHANG F. Z., JIANG H. X., TANG N., SMITH B. R. Root release and metabolism of organic acids in tea plants in response to phosphorus supply. *Journal of Plant Physiology*, 2011. 168:644-652.

MARQUES, A. da C. As paisagens do mate e a conservação socioambiental: um estudo junto aos agricultores familiares do planalto norte catarinense (Tese, curso de Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento da Universidade Federal do Paraná), 2014.

MARSCHNER, P. Marschner's Mineral nutrition mineral nutrition of higher plants. 3.ed. London; 2012.

MARTINS, A. P. L., REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. *Scientia Agraria*, 8:1-17, 2007.

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*, v. 736, p. 139637, 2020.

NEPAR – Núcleo estadual do Paraná. Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

NOVAIS, R. F., MELLO, J. W. V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R. F. et al. Fertilidade solo. Viçosa, MG: SBCS, 2007. P. 276-374.

OLIVA, E. V., REISSMANN, C. B., GAIAD, S., DE OLIVEIRA, E. B., STURION, J. A. Composição nutricional de procedências e progênes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) cultivadas em latossolo vermelho distrófico. *Ciência Florestal*, v. 24, n. 4, p. 793-805, 2014.

PANDOLFO, C. M., FLOSS, P. A., DA CROCE, D. M., DITTRICH, R. C. Resposta da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) à adubação mineral e orgânica em um latossolo vermelho aluminoférrico. *Ciência Florestal*, v. 13, n. 2, p. 37-45, 2003.

RADOMSKI, M.I.; SUGAMOSTO, M.L., GIAROLA, N.F.B.; CAMPIOLO, S. Avaliação dos teores de macro e micronutrientes em folhas jovens e velhas de erva-mate nativa. *Revista do Instituto Florestal*, São Paulo, v.4, pt.2, 1992. P. 453-456

REISSMANN, C. B. et al. Avaliação da exportação de macronutrientes pela exportação da erva-mate. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 1985, Curitiba. Anais Curitiba: EMBRAPA; CNPF, 1985. P. 128-139.

REISSMANN, C. B., ROCHA, H. O. DA , KOEHLER, C. W. Bioelementos em folhas e hastes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) sobre cambissolo na região de Mandirituba – PR. Curitiba. *Floresta*, Curitiba, v. 14, n. 2. P. 49-54, 1983.

RIBEIRO, M. M., REISSMANN, C. B., CORRÊA, D. R. Nutrição da erva-mate com sulfato de amônio. *Cerne*, v. 14, n. 3, 2008.

SANTIN, D., BENEDETTI, E. L., BRONDANI, G. E., REISSMANN, C. B., ORRUTÉA, A. G., ROVEDA, L. F. Crescimento de mudas de erva-mate fertilizadas com N, P e K. *Scientia Agraria*, v. 9, n. 1, p. 59-66, 2008.

SANTIN, D., BENEDETTI, E. L., DE BARROS, N. F., FONTES, L. L., DE 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, 2017, 27.3: 783-797.

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

SOUZA, J. L. M., de ARAUJO, M. A., REISSMANN, C. B., JÚNIOR, A. M., WOLF, C. S. Teores de nutrientes foliares em plantas de erva-mate em função da posição e orientação geográfica da copa, em Guarapuava-PR. Scientia Agraria, v. 9, n. 1, p. 049-058, 2008.

SOUZA, A.H.P.; CORREA, R.C.G.; BARROS, L.; CALHELHA, R.C.; SANTOS-BUELGA, C.; PERALTA, R.M.; BRACHT, A.; MATSUSHITA, M.; FERREIRA, I.C.F.R. Phytochemicals and bioactive properties of *Ilex paraguariensis*: an in-vitro comparative study between the whole plant, leaves and stems. Food Research International 78: 286-294, 2015.

VANCE C. P., UHDE-STONE C., ALLAN D. L. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. New Phytologist, 2003; 157:423- 447.

3 CAPÍTULO 2: APLICAÇÃO DE ENXOFRE EM ERVA-MATE CLONAL INFLUENCIA A PRODUTIVIDADE DO CULTIVO

3.1 RESUMO

Estudos envolvendo a aplicação de S em cultivos de erva-mate são inexistentes. O objetivo do estudo foi verificar a produtividade de dois clones de erva-mate em resposta a aplicação de doses de S, bem como determinar o nível crítico do nutriente no solo e folhas de erva-mate. O estudo foi conduzido em um experimento implantado em setembro de 2013 no município de Itaiópolis-SC (26°25'44" S e 49°55'45" O). O solo da área é caracterizado como Cambissolo Húmico, de textura argilosa. Foram avaliadas 4 doses do nutriente em dois clones fêmeas (F1-BRS BLD Aupaba e F2) de erva-mate, resultando em 8 tratamentos. As adubações realizadas no decorrer do experimento foram definidas como adubação de plantio/pós-plantio (0; 0,6; 1,2 e 1,8 g planta⁻¹ ano⁻¹ de S), formação de copa 1 (0; 2,0; 3,5 e 5,0 g planta⁻¹ ano⁻¹ de S), formação de copa 2 (0, 2,5; 5,0 e 10 g planta⁻¹ ano⁻¹ de S) e de produção (0, 6,7; 13,3 e 26,7 kg há⁻¹ ano⁻¹ de S). Após a primeira colheita, em julho de 2015, as demais foram realizadas em intervalos de 18 meses, até janeiro de 2020. Foi avaliada a produtividade de folhas (FO), galhos finos (GF), galhos grossos (GG) e erva comercial (COM) e de biomassa total (TT). Foi calculado a porcentagem de FO em COM e o índice de colheita (IC). Na safra de 2020, foram coletadas amostras de solo para determinação do teor de S-SO₄²⁻ disponível nas camadas 0-20 e 20-40 cm, e de folhas do terço médio das plantas para determinação do teor de S. Os níveis críticos do nutriente na folha e no solo foram obtidos através do ajuste de equações de regressão, relacionando o teor do nutriente com 90% do rendimento relativo. A produtividade da erva-mate aumentou com a adubação sulfatada em todas as safras avaliadas. As doses que proporcionaram a maior produtividade de COM nas safras de 2015, 2017, 2018 e 2020 foram de 1,2; 3,7 e 7,9 g planta⁻¹ e 16,4 kg há⁻¹, respectivamente. Os clones não diferiram entre si em relação a aplicação de doses de S. A porcentagem de FO em COM e o IC não foram afetados pela adubação sulfatada. Os níveis críticos de S-SO₄²⁻ no solo foram 10,6 e 7,8 mg dm⁻³ nas camadas 0-20 e 20-40 cm, respectivamente. Não houve efeito da adubação sulfatada no teor de S nas folhas dos clones de erva-mate, com teor médio de 0,92 g kg⁻¹.

Palavras-chave: adubação de erva-mate; nível crítico; teor foliar; sulfato no solo.

3.2 ABSTRACT

Studies involving the application of S in yerba mate crops are non-existent. The objective of the study was to verify the yield of two yerba mate clones in response to the application of S doses, as well as to determine the critical level of the nutrient in yerba mate soil and leaves. The study was conducted in an experiment implemented in September 2013 in the city of Itaiópolis-SC (26°25'44"S and 49°55'45"W). The soil in the area is characterized as Cambisol, with a clayey texture. Four doses of the nutrient were evaluated in two female clones (F1-BRS BLD Aupaba and F2) of yerba mate, resulting in 8 treatments. The fertilizations performed during the experiment were defined as planting/post-planting fertilization (0; 0.6; 1.2 and 1.8 g plant⁻¹ year⁻¹ of S), crown formation 1 (0 ; 2.0; 3.5 and 5.0 g plant⁻¹ year⁻¹ of S), canopy formation 2 (0, 2.5; 5.0 and 10 g plant⁻¹ year⁻¹ of S) and of production (0, 6.7; 13.3 and 26.7 kg ha⁻¹ year⁻¹ of S). After the first harvest, in July 2015, the others were carried out at intervals of 18 months, until January 2020. The yields of leaves (FO), fine twigs (GF), thick twigs (GG) and commercial grass (COM), result of the sum of FO and GF. The percentage of FO in COM and the harvest index (CI) were calculated. In the 2020 harvest, soil samples were collected to determine the S-SO₄²⁻ content available in the 0-20 and 20-40 cm layers, and from leaves of the middle third of the plants to determine the S content. Leaf and soil nutrient were obtained by fitting regression equations, relating the nutrient content to 90% of the relative yield. Yerba mate yield increased with sulfated fertilization in all evaluated crops. The doses that provided the highest COM productivity in the 2015, 2017, 2018 and 2020 harvests were 1.2; 3.7 and 7.9 g plant⁻¹ and 16.4 kg ha⁻¹, respectively. The clones did not differ in relation to the application of doses of S. The percentage of FO in COM and IC were not affected by sulfated fertilization. The critical levels of S-SO₄²⁻ in the soil were 10.6 and 7.8 mg dm⁻³ in the 0-20 and 20-40 cm layers, respectively. There was no effect of sulfated fertilization on the S content in leaves of the yerba mate clones, with an average content of 0.92 g kg⁻¹.

Keywords: yerba mate fertilization; critical level; leaf content; sulfate in the soil.

3.3 INTRODUÇÃO

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hill), planta da família Aquifoliaceae, é uma espécie que ocorre naturalmente na região sul do Brasil, onde desempenha importante papel econômico e cultural. Em 2019, o Paraná foi responsável pela maior produção nacional com 507 mil toneladas produzidas, seguido de Rio Grande do Sul e Santa Catarina, com 258 e 114 mil toneladas cada, respectivamente (IBGE 2020). As folhas e galhos finos (< 7 mm) são as principais partes consumidas da planta através do chimarrão e do tereré. Berté et al. (2011) demonstraram que a erva-mate apresentam compostos funcionais ao organismo, tais como cafeína e o teobromina.

Embora a erva-mate tenha sido considerada uma espécie pouco exigente em termos de fertilidade do solo (REISSMANN et al., 1985; RADOMSKI et al., 1992), vários trabalhos relatam respostas pela cultura à aplicação de nutrientes (SANTIN et al., 2013; SANTIN et al., 2017; BARBOSA et al., 2018). No entanto, trabalhos envolvendo a nutrição da espécie por muitas vezes não abordam a importância do S para a cultura (SANTIN et al., 2013; OLIVA et al., 2014). Aliado a isso, recentemente variações clonais foram selecionadas e recomendadas para cultivo (WENDLING e SANTIN, 2015), sendo necessário determinar a exigência nutricional e doses do nutriente a serem aplicadas.

O S, juntamente com o P, é o macronutriente que se encontra em menor concentração na erva-mate, com teores nas folhas variando entre 1,6 e 2,1 g kg⁻¹ (MOTTA et al., 2020), não havendo na literatura estudos sobre o efeito da aplicação do nutriente na cultura. O S é essencial na formação de compostos metabólicos importantes, tais como aminoácidos (metionina e cisteína), além de ter papel importante na formação da clorofila (TAIZ e ZEIGER, 2013), podendo, em caso de deficiência, prejudicar a produtividade das culturas (LUCAS et al., 2013). Nas últimas décadas, vem sendo mais comum o aparecimento de deficiências S nas plantas cultivadas, em virtude da adoção de formulações de fertilizantes mais concentradas com ausência do nutriente, além do aumento da produtividade das culturas e, conseqüentemente, maior exportação do nutriente das lavouras (MELO et al., 2011). No entanto, é de grande importância e inédito verificar se há influência da aplicação de S na produtividade da erva-mate, a fim de definir doses deste nutriente em cultivos desta espécie.

Sendo assim, os objetivos do trabalho foi avaliar a resposta e definir doses de S em clones de erva-mate na fase inicial de produção, bem como determinar o nível crítico do nutriente no solo e nas folhas de erva-mate.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em experimento a campo, implantado em setembro de 2013 no município de Itaiópolis-SC (26°25'44" S e 49°55'45" O, altitude 920 m). O solo da área experimental foi classificado como Cambissolo Húmico (EMBRAPA, 2012), de textura argilosa e suas propriedades químicas e teor de argila, antes da instalação do experimento, se encontram na Tabela 6. O clima da região, segundo a classificação de Koppen, é do tipo Cfb, sendo a temperatura média anual de 17,1 °C e a precipitação média anual de 1626 mm (ALVAREZ et al., 2013).

TABELA 6. TEOR DE ARGILA E PROPRIEDADES QUÍMICAS DO SOLO NA CAMADA DE 0 A 20 CM DE PROFUNDIDADE NO LOCAL DO EXPERIMENTO, ANTES DA INSTALAÇÃO.

pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al ³⁺	CTC	V	m	Argila	CO	P	K	S-SO ₄ ²⁻
H ₂ O	-----cmol _c dm ⁻³ -----						-----%-----	g kg ⁻¹	g dm ⁻³	-----mg dm ⁻³ -----		
4,9	2,39	0,51	4,71	13,7	17,12	20	57,9	510	23,8	8,2	204	7,95

Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ (extraído com KCl 1 mol L⁻¹); S-SO₄²⁻ (extraído com fosfato monocálcico); H + Al³⁺ (extração com acetato de Ca 0,5 mol L⁻¹); carbono orgânico (CO) (método volumétrico dicromato de potássio); K⁺ e P (extrator Mehlich-1; relação solo:solução 1:10); argila (método do densímetro); CTC = capacidade de troca de cátions a pH 7,0; m = saturação por Al³⁺.

Os tratamentos resultaram da combinação dos clones fêmeas F1-BRS BLD Aupaba (Aupaba) e F2-ainda sem registro (F2) com 4 doses do nutriente, resultando em 8 tratamentos. As adubações realizadas no decorrer do experimento foram definidas como adubação de plantio/pós-plantio, formação de copa 1, formação de copa 2 e de produção, as quais foram aplicadas do plantio até a primeira colheita, entre a primeira e segunda, segunda e terceira e terceira e quarta colheita, respectivamente. As doses de cada tratamento estão descritas na Tabela 7. Nestas fases também foi aplicado N nas doses anuais de 7,5, 20 e 40 g planta⁻¹ e 120 kg ha⁻¹, P₂O₅ nas doses 4,5, 30, 40 g planta⁻¹ e 50 kg ha⁻¹ e K₂O nas doses anuais de 4,8,

10, 25 g planta⁻¹ e 60 kg ha⁻¹, respectivamente. As adubações foram parceladas em duas, sendo metade de dose anual aplicada em fevereiro e metade em setembro. No momento do plantio, o adubo foi incorporado na cova a 15 dm⁻³ de solo. As aplicações seguintes foram realizadas na projeção da copa da planta. Na adubação de produção, o adubo foi aplicado a lanço em área total. Antes da implantação do experimento, ainda foi aplicado em superfície 3,5 t ha⁻¹ de calcário dolomítico em área total para fornecimento de Ca e Mg às plantas. Para aplicação de N, P e K foram utilizados como fonte ureia (45 % de N), superfosfato triplo (42 % de P₂O₅) e KCl (60 % de K₂O), respectivamente. A fonte de S utilizada foi K₂SO₄ (18 % de S, 50 % de K₂O). A quantidade aplicada de K com este adubo foi descontada da dose de KCl.

TABELA 7. DOSES DE ENXOFRE (S) DE ACORDO COM O TRATAMENTO E FASE DE DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS DE ERVA-MATE.

Tratamento	Fase de crescimento da cultura			
	Plantio / pós-plantio	Até primeira colheita	Da 1ª até 2ª colheita	Produção
Doses de S				
	-----g planta ⁻¹ ano ⁻¹ -----			kg ha ⁻¹ ano ⁻¹
T1	0	0	0	0
T2	0,6	2	2,5	6,7
T3	1,2	3,5	5	13,3
T4	1,8	5	10	26,7

Os tratamentos foram arranjados em esquema de parcela sub-dividida, sendo na parcela as doses do nutriente e na subparcela os clones de erva-mate. O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados, com 4 repetições, totalizando 16 parcelas. Cada parcela foi constituída de 12 plantas úteis de cada clone, além de duas linhas de bordadura, compostas por plantas propagadas por sementes. O espaçamento entre plantas na linha foi de 2,0 m e entre linhas de 2,5 m.

Após a primeira colheita, em julho de 2015, os experimentos passaram a ser avaliados em intervalos de 18 meses, até janeiro de 2020, totalizando 4 colheitas. A biomassa colhida foi fracionada em folhas (FO), galhos finos (GF - ≤7 mm) e galhos grossos (GG - >7 mm), excluindo-se a última fração para quantificação da biomassa

comercial (COM). A quantificação da biomassa total (TT) produzida resultou da soma de COM e GG. A produtividade de cada colheita foi obtido multiplicando-se a biomassa comercial média produzida (massa verde) por planta e a população de plantas por hectare. Foram calculados a porcentagem de FO em COM e o índice de colheita (IC), que foi obtido pela equação $IC = (COM \times 100)/(FO+GF+GG)$.

Em janeiro de 2020, foi realizada a coleta de folhas para análise, coletando-se aleatoriamente 20 folhas totalmente expandidas em galhos com brotação do ano, no terço médio da copa (NEPAR, 2019), de 5 plantas representativas de cada parcela. As folhas coletadas foram secas em estufa à 60 °C até atingir peso constante, moídos em moinho de café e passados em peneira de 0,5 mm de abertura. Para obtenção dos teores dos demais nutrientes, foi realizada digestão de 0,2 g de amostra seca em sistema fechado utilizando forno microondas com solução nitroperóxida - 2 ml de HNO₃, 1 ml de peróxido de hidrogênio e 1 ml de água ultrapura. A concentração de S no extrato foi determinada por ICP-OES.

Após a colheita de janeiro de 2020, foi realizada coleta de solo com trado calador nas camadas de 0-20 e 20-40 cm. A coleta foi realizada em 10 locais por parcela, na projeção da copa das plantas, e o solo coletado foi homogeneizado para compor uma amostra por parcela. As amostras foram secas em estufa e passadas em peneira de 2 mm. O teor de S-SO₄²⁻ foi analisado segundo metodologia descrita por Raij et al. (2001), sendo a extração feita com fosfato monocálcico e a leitura realizada por turbidimetria.

As médias de produtividade dos componentes da biomassa colhida, a porcentagem de FO e COM e o IC, os teores de S nas folhas e no solo foram submetidos à análise de variância (Anova). Em caso de efeito significativo para doses, os dados foram submetidas à análise de regressão. As doses que proporcionaram a maior produtividade de COM e o nível crítico de S nas folhas e no solo, foram obtidos, respectivamente, através da derivada das equações de regressão e relacionando o teor do nutriente nas folhas e no solo com 90% do máximo rendimento de COM obtido. Para determinação do nível crítico foram utilizados os dados da safra de janeiro de 2020, quando as plantas já se encontravam na fase de produção.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação entre fontes de variação (dose de S x clone) em nenhuma das safras avaliadas. Porém, as doses de S aumentaram a produtividade de COM e TT em todas as safras (GRÁFICO 3). Os clones apresentaram diferenças entre si na produção de FO, GF e COM na safra de 2017 e na produção de GF na safra de 2020 (Tabela 8). As doses que proporcionaram a maior produtividade de COM nas safras de 2015, 2017, 2018 e 2020 foram de 1,2; 3,7 e 7,9 g planta⁻¹ e 16,4 kg ha⁻¹, respectivamente. Essas doses proporcionaram as produtividades de 1,12; 4,22; 6,00 e 11,84 Mg ha⁻¹. A produtividade máxima obtida na fase de produção (colheita de 2020) foi semelhante ao obtido por Oliva et al. (2014) em erval de mesma idade, onde os autores obtiveram produtividade de 12 Mg ha⁻¹.

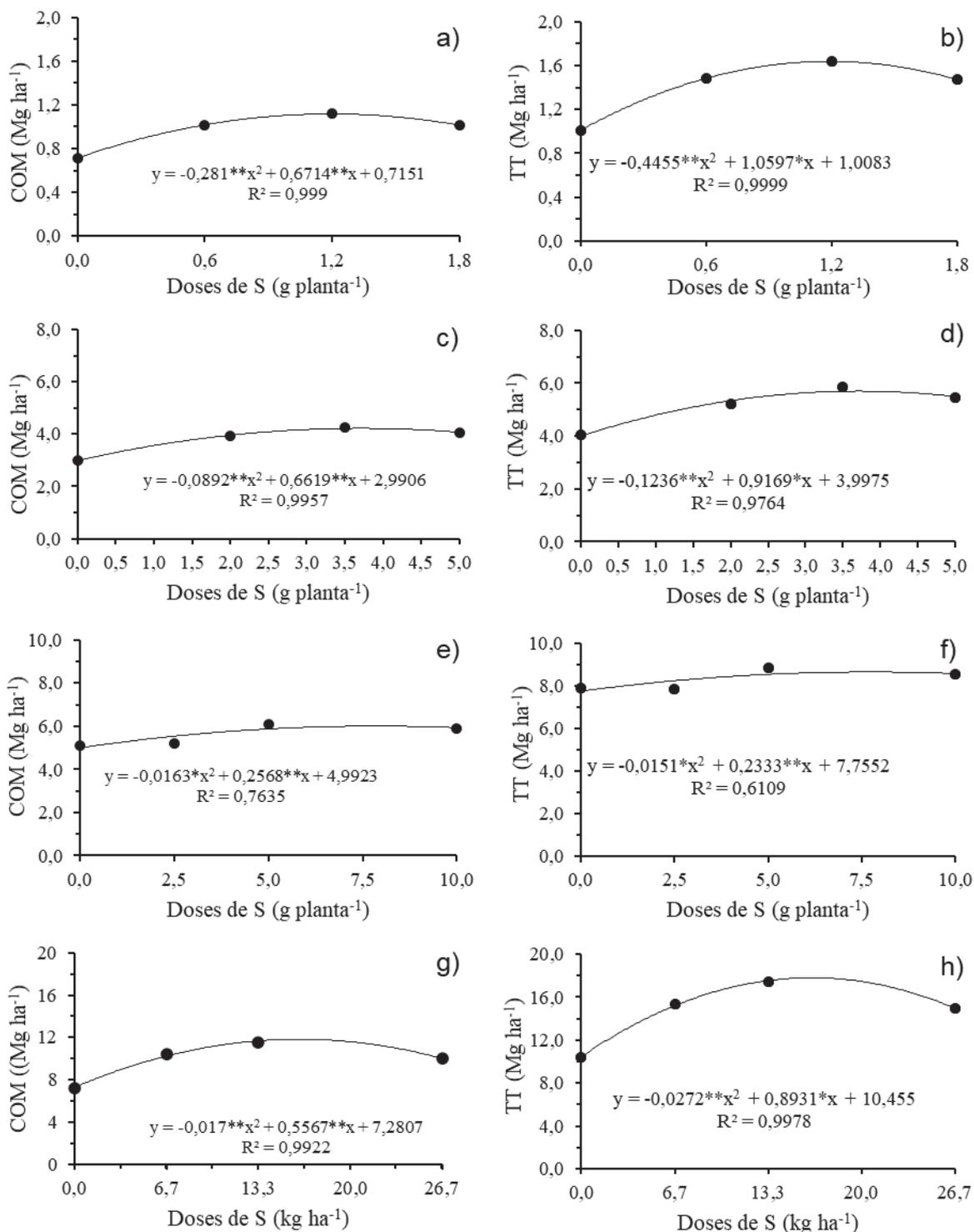


GRÁFICO 3. PRODUTIVIDADE DE MASSA FRESCA COMERCIAL (COM) E TOTAL (TT) DE ERVA-MATE EM FUNÇÃO DE DOSES DE ENXOFRE NAS SAFRAS DE 2015 (a, b), 2017 (c, d), 2018 (e, f) E 2020 (g, h), RESPECTIVAMENTE.

** E *, RESPECTIVAMENTE, SIGNIFICATIVO A 1 E 5% DE PROBABILIDADE.

TABELA 8. MÉDIAS DE PRODUTIVIDADE DE FOLHA, GALHO FINO E GALHO GROSSO ($Mg\ ha^{-1}$) DE CLONES DE ERVA-MATE EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO SULFATADA.

Safrá 2015	
------------	--

Componente	Clone	Doses de S (g planta ⁻¹)				Média / Eq.	R ²
		0,00	0,6	1,2	1,8		
FO	Aupaba	0,61	0,76	0,88	0,87	0,78	0,99
	F2	0,52	0,83	0,88	0,74	0,74	
	Média	0,57	0,80	0,88	0,81	Q**	
GF	Aupaba	0,16	0,19	0,25	0,22	0,21	0,99
	F2	0,14	0,25	0,22	0,22	0,21	
	Média	0,15	0,22	0,24	0,22	Q**	
GG	Aupaba	0,31	0,43	0,50	0,47	0,43	0,99
	F2	0,28	0,52	0,53	0,43	0,44	
	Média	0,29	0,47	0,52	0,45	Q**	
Safrá 2017							
		Doses de S (g planta ⁻¹)					
		0,0	2,0	3,5	5,0		
FO	Aupaba	2,61	3,06	3,35	3 ^a 13	3,04a	0,99
	F2	1,97	2,89	3,00	3,05	2,73b	
	Média	2,29	2,97	3,18	3,09	Q**	
GF	Aupaba	0,76	1,02	1,14	1,09	1,0a	0,96
	F2	0,65	0,85	1,03	0,84	0,85b	
	Média	0,71	0,93	1,08	0,97	Q**	
GG	Aupaba	1,16	1,25	1,69	1 ^a 50	1,40a	0,92
	F2	0,90	1,35	1,47	1,26	1,25b	
	Média	1,03	1,30	1,58	1,38	Q**	
Safrá 2018							
		Doses de S (g planta ⁻¹)					
		0,0	2,5	5,0	10,0		
FO	Aupaba	3,40	3,47	4,63	4,23	3,93	0,70
	F2	4,02	4,04	4,12	4,26	4,11	
	Média	3,71	3,76	4,37	4,24	Q*	
GF	Aupaba	1,25	1,40	1,84	1,68	1,54	0,69
	F2	1,56	1,52	1,62	1,60	1,58	
	Média	1,40	1,46	1,73	1,64	L*	
GG	Aupaba	2,57	2,53	2,84	2,53	2,62	-
	F2	3,02	2,72	2,64	2,75	2,79	
	Média	2,80	2,62	2,74	2,64	ns	
Safrá 2020							
		Doses de S (kg ha ⁻¹)					
		0,0	6,7	13,3	26,7		
FO	Aupaba	5,78	8,13	8,18 ^a 7,82	7,48a		0,97
	F2	4,79	7,45	8,31	6,98	6,88b	
	Média	5,29	7,79	8,24	7,40	Q**	
GF	Aupaba	1,93	2,80	3,32	2,87	2,73	0,98
	F2	1,90	2,53	3,22	2,40	2,51	
	Média	1,91	2,66	3,27	2,63	Q**	
GG	Aupaba	3,30	4,74	5,72	5,05	4,70	0,99
	F2	3,08	5,13	6,06	4,85	4,78	
	Média	3,19	4,94	5,89	4,95	Q**	

Eq = equação; L = equação linear; Q = equação quadrática; ns = regressão não significativa; ** e *, respectivamente, significativo a 1 e 5% de probabilidade; médias com letras diferentes diferem entre si para clones (Anova p<0,05).

Embora tenha sido considerada pouco exigente em fertilidade (REISSMANN et al., 1985; RADOMSKI et al., 1992), este estudo demonstra que a erva-mate responde a adubação sulfatada desde a fase de implantação até a fase de produção. Os incrementos na produtividade com aplicação de S nas safras avaliadas atingiram 56,6; 23,7; 20,2 e 62,3 % em relação ao tratamento sem aplicação do nutriente nas safras de 2015, 2017, 2018 e 2020, respectivamente. Respostas a aplicação de N, P e K pela erva-mate já foram verificadas em diversos estudos (RIBEIRO et al., 2008; SANTIN et al., 2016; SANTIN et al., 2017), no entanto, este é o primeiro estudo que demonstra o efeito da aplicação de S na cultura.

O IC da erva-mate não foi afetado pelas doses de S. As médias foram de 69,0; 74,1; 67,1 e 67,6 % para as safras de 2015, 2017, 2018 e 2020, respectivamente. Não se observou diferença entre os clones em qualquer das safras. Esse resultado demonstra que a produção de GG aumentou de maneira proporcional à COM. O IC é um parâmetro importante a ser determinado, especialmente para o produtor, já que revela a porcentagem do total produzido que será comercializado. A porcentagem de FO em COM também não foi influenciada pela adubação sulfatada, nem houve diferença entre os clones. As médias foram de 78,9; 75,7; 72,1 e 73,3 % para as safras de 2015, 2017, 2018 e 2020, respectivamente. Essa característica tem grande importância para indústria, já que a maior parte dos compostos químicos da espécie estão em maior concentração nas folhas da planta (SOUZA et al., 2015). Portanto, embora tenha aumentado a produtividade de COM, a adubação sulfatada não parece ter influência sobre o IC e a porcentagem de FO em COM.

A adubação sulfatada aumentou a disponibilidade de $S-SO_4^{2-}$ no solo nas duas camadas avaliadas, porém, o maior aumento ocorreu na camada 0-20 cm (GRÁFICO 4). Os teores de $S-SO_4^{2-}$ variaram entre 2,5 e 29,3 $mg\ dm^{-3}$ na camada 0-20 cm e 3,9 e 13,1 $mg\ dm^{-3}$, na camada de 20-40 cm. O maior teor de S observado na camada mais profunda, no tratamento sem aplicação do nutriente, reflete o comportamento deste nutriente no solo, onde o sulfato se acumula nas camadas mais profundas em virtude de ser facilmente deslocado no perfil do solo por conta de ser fracamente retido por adsorção. Esse comportamento também foi verificado por Fano (2015). Sendo assim, esperava-se o aumento mais acentuado do teor $S-SO_4^{2-}$ na camada 20-40 cm nos tratamentos com adição de S. No entanto, Tiecher et al. (2015) também verificaram maiores teores do nutriente nas camadas superficiais do solo,

mesmo coletando solo 240 dias após aplicação do nutriente. O que pode ter contribuído para o aumento mais acentuado na camada 0-20 cm é o fato de que não houve revolvimento de solo no erval, o que favorece maiores teores de matéria orgânica nessa camada e além disso, o solo apresenta pH baixo, condições que favorecem a adsorção do $S-SO_4^{2-}$ (RHEINHEIMER et al., 2005).

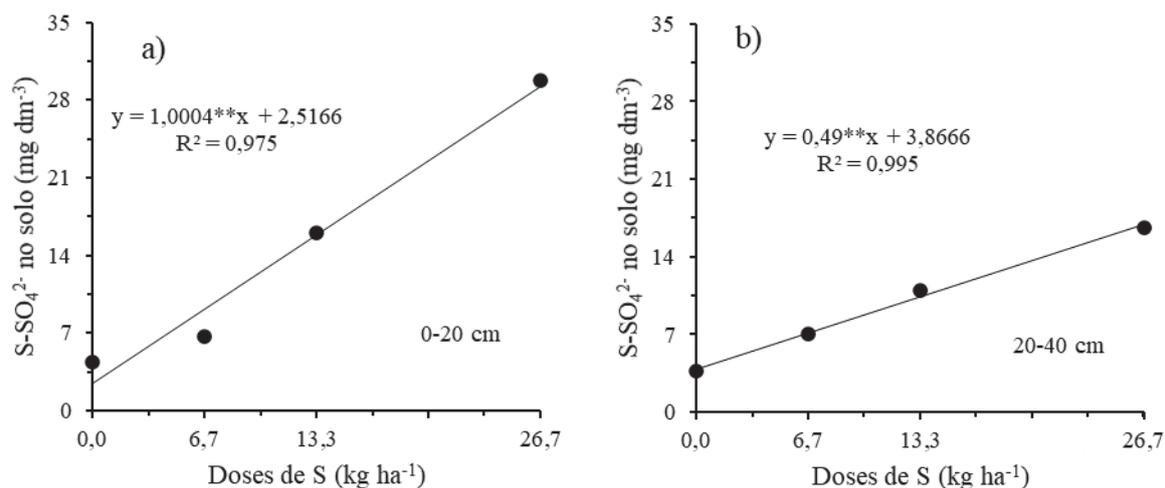


GRÁFICO 4. TEOR DE $S-SO_4^{2-}$ NO SOLO NAS CAMADAS 0-20 cm (A), 20-40 cm (B) EM FUNÇÃO DE DOSES DE ADUBAÇÃO SULFATADA.

** significativo 1 % de probabilidade.

Os níveis críticos de $S-SO_4^{2-}$ no solo para erva-mate em fase de produção foram de 10,6 e 7,8 mg dm⁻³ nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente. Esses valores estão acima dos descritos em NEPAR (2019), em que o nível crítico deste nutriente no solo é de 3,1 e 9,1 mg dm⁻³ nessas mesmas camadas. Por outro lado, CQFS-RS/SC (2016), estabelece níveis críticos de S no solo de 5 e 10 mg dm⁻³, na camada de 0-20 cm, para culturas que são menos e mais exigentes em S, respectivamente. Nesse sentido, os clones de erva-mate avaliados neste estudo poderiam ser considerados exigentes nesse nutriente, já que o nível crítico observado foi mais elevado em relação aos indicados na literatura.

Não houve efeito da adubação sulfatada no teor de S nas folhas dos clones de erva-mate. No entanto, pelo fato de ter havido aumento na produtividade, a quantidade do nutriente absorvido foi maior com a adubação sulfatada. O teor médio observado foi de 0,92 g kg⁻¹. Esse teor está abaixo dos encontrados por Motta et al. (2020), que verificaram, entre plantas de 30 locais de ervais nativos, teores de S variando entre 1,6 e 2,1 g kg⁻¹. Embora não tenha havido diferença no teor de S entre

os clones avaliados neste estudo, os dados apresentados revelam que clones de erva-mate podem apresentar demandas nutricionais diferentes em relação a plantas propagadas em condições naturais. Isso torna necessário a determinação da exigência nutricional de clones de erva-mate, tendo em vista que estudos envolvendo a nutrição da espécie se tratam em sua maioria de plantas propagadas por semente.

3.6 CONCLUSÕES

A adubação sulfatada aumenta a produtividade de clones de erva-mate nas quatro primeiras colheitas do cultivo.

As doses de S na adubação de plantio/pós-plantio, formação de copa 1, formação de copa 2 e de produção que proporcionaram a maior produtividade de erva comercial foram de 1,2; 3,7 e 7,9 g planta⁻¹ e 16,4 kg ha⁻¹, respectivamente.

Os níveis críticos de S-SO₄²⁻ no solo para erva-mate em fase de produção foram de 10,6 e 7,8 mg dm⁻³ nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente.

3.7 REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., DE MORAES GONÇALVES, J. L., SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BARBOSA, J. Z., MOTTA, A. C., CONSALTER, R., POGGERE, G. C., SANTIN, D., WENDLING, I. Plant growth, nutrients and potentially toxic elements in leaves of yerba mate clones in response to phosphorus in acid soils. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 2018, 90.1: 557-571.

BERTÉ, K. A., BEUX, M. R., SPADA, P. K., SALVADOR, M., HOFFMANN-RIBANI, R. hemical composition and antioxidant activity of yerba-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil., Aquifoliaceae) extract as obtained by spray drying. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v. 59, n. 10, p. 5523-5527, 2011.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE– DO SOLO - CQFS-RS/SC. Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciênci– do Solo - Núcleo Regional Sul, 2016.

FANO, A. Fontes de enxofre e manejo de nitrogênio na produtividade e qualidade industrial de trigo [dissertação]. Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2018. Banco de Dados Agregados, sistema IBGE de recuperação automática SIDRA. Disponível em: <Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br> >. Acesso em: 03 de dezembro de 2020.

LUCAS, F. T.; COUTINHO, E. L. M.; PAES, J. M. V.; BARBOSA, J. C. Produtividade e qualidade de grãos de canola em função da adubação nitrogenada e sulfatada. Semina: Ciências Agrárias, Londrina-PR, v. 34, n. 6, p. 3205-3218, 2013.

MELO, L. C. A., AVANZI, J. C., CARVALHO, R., DE SOUZA, F. S., PEREIRA, J. L. A. R., MENDES, A. D. R., MACÊDO, G. B. Nutrição e produção de matéria seca de milho submetido a calagem e adubação sulfatada. Pesquisa Agropecuária Tropical, v. 41, n. 2, p. 193-199, 2011.

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, v. 736, p. 139637, 2020.

NEPAR – Núcleo estadual do Paraná. Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

OLIVA, E. V., REISSMANN, C. B., GAIAD, S., DE OLIVEIRA, E. B., STURION, J. A. Composição nutricional de procedências e progênes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) cultivadas em latossolo vermelho distrófico. Ciência Florestal, v. 24, n. 4, p. 793-805, 2014.

PANDOLFO, C. M., FLOSS, P. A., DA CROCE, D. M., DITTRICH, R. C. Resposta da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) à adubação mineral e orgânica em um latossolo vermelho aluminoférrico. Ciência Florestal, v. 13, n. 2, p. 37-45, 2003.

RAIJ, B. van, ANDRADE, J.C., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A. (Ed.) Análise química para avaliação da fertilidade do solo. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RADOMSKI, M.I.; SUGAMOSTO, M.L., GIAROLA, N.F.B.; CAMPIOLO, S. Avaliação dos teores de macro e micronutrientes em folhas jovens e velhas de erva-mate nativa. Revista do Instituto Florestal, São Paulo, v.4, pt.2, 1992. p. 453-456

REISSMANN, C. B. et al. Avaliação da exportação de macronutrientes pela exportação da erva-mate. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 1985, Curitiba. Anais Curitiba: EMBRAPA; CNpF, 1985. p. 128-139.

RHEINHEIMER D. S., ALVAREZ J. W. R., OSORIO FILHO B. D., SILVA L. S., BORTOLUZZI E. C. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. Ciência Rural. p. 562-569, 2005.

RIBEIRO, M. M., REISSMANN, C. B., CORRÊA, D. R. Nutrição da erva-mate com sulfato de amônio. *Cerne*, v. 14, n. 3, 2008.

SANTIN, D., BENEDETTI, E. L., BRONDANI, G. E., REISSMANN, C. B., ORRUTÉA, A. G., & ROVEDA, L. F. Crescimento de mudas de erva-mate fertilizadas com N, P e K. *Scientia Agraria*, v. 9, n. 1, p. 59-66, 2008.

SANTIN, D., BENEDETTI, E. L., DE BARROS, N. F., FONTES, L. L., DE 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*, 2017, 27.3: 783-797.

SANTIN, D., BENEDETTI, E. L., DE BARROS, N. F., DE ALMEIDA, I. C., WENDLING, I. Intervalos de colheita e adubação potássica influenciam a produtividade da erva-mate (*Ilex paraguariensis*) no estado do paraná. *Floresta*, 46(4), 509-518, 2016.

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

SOUZA, A. H. P., CORREA, R. C. G., BARROS, L., CALHELHA, R. C., SANTOS-BUELGA, C., PERALTA, R. M., BRACHT, A., MATSUSHITA, M., FERREIRA, I. C. F. R. Phytochemicals and bioactive properties of *Ilex paraguariensis*: an in-vitro comparative study between the whole plant, leaves and stems. *Food Research International* 78: 286-294, 2015.

TAIZ, L., ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed, 2018. 918p.

TIECHER T., SANTOS D. R., ALVAREZ J. W. R., MALLMANN F. J. K., PICCIN R., BRUNETTO G. Respostas de culturas à adubação sulfatada e deposição de enxofre atmosférico. *Rev Ceres*, v. 60, n. 3, p. 420-427, 2013.

WENDLING, I. e SANTIN, D. *Propagação e nutrição de erva-mate*. Brasília: Embrapa, 2015.

4 CONCLUSÃO GERAL

A produtividade da erva-mate aumentou com a adubação fosfatada e sulfatada em todas as safras avaliadas. A maior produtividade de erva comercial foi obtida com a aplicação de 5,15, 24,53, 39,93 g planta⁻¹ de P₂O₅ nas safras 2015, 2017 e 2018, e 34,90 e 35,77 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no clone Aupaba e Clone F2, respectivamente na safra 2020. As doses de S na adubação de plantio/pós-plantio, formação de copa 1, formação de copa 2 e de produção que proporcionaram a maior produtividade de erva comercial foram de 1,2; 3,7 e 7,9 g planta⁻¹ e 16,4 kg ha⁻¹, respectivamente.

A porcentagem de FO em COM e o IC não foram afetados pela adubação fosfatada e sulfatada.

Os níveis críticos de P para os clones F1-BRS BLD Aupaba e F2 foram 8,72 e 9,32 mg dm⁻³ no solo e 1,06 e 1,14 g kg⁻¹ na planta, respectivamente. Os níveis críticos de S-SO₄²⁻ no solo foram de 10,6 e 7,8 nas camadas de 0-20 e 20-40 cm, respectivamente. As doses de S aplicadas não influenciaram o teor do nutriente na folha.

A adubação fosfatada afeta os teores de P em FO, GF e GG e o de K e S em GF, além de aumentar o conteúdo de todos macronutrientes em COM e TT de erva-mate. A ordem decrescente da quantidade dos macronutrientes exportados pela erva mate foi N>K>Mg>Ca>P>S.

5 REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., DE MORAES GONÇALVES, J. L., SPAROV'K, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

BARBOSA, J. Z., MOTTA, A. C., CONSALTER, R., POGGERE, G. C., SANTIN, D., WENDLING, I. Plant growth, nutrients and potentially toxic elements in leaves of yerba mate clones in response to phosphorus in acid soils. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 2018, 90.1: 557-571.

BERTÉ, K. A., BEUX, M. R., SPADA, P. K., SALVADOR, M., HOFFMANN-RIBANI, R. hemical composition and antioxidant activity of yerba-mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil., Aquifoliaceae) extract as obtained by spray drying. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 59, n. 10, p. 5523-5527, 2011.

BISSO, F.P.; SALET, R.L. Ex49utrientsde nutrientes pela poda da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.). Santa Maria: Departamento de Solos UFSM, 2000.

CARDOZO JUNIOR E. L., MORAND C., Interest of mate (*Ilex paraguariensis* A, St.-Hil,) as a new natural functional food to preserve human cardiovas–ular health - A review. *Journal Functional Foods*, 2016; 21:440-454.

CARON, B. O., SANTOS, D. R. D., SCHMIDT, D., BASSO, C. J., BEHLING, A., ELOY, E., BAMBERG, R. Biomassa e acúmulo de nutrientes em *Ilex paraguariensis*.

CARVALHO, P. H. R. Espécies Arbóreas Brasileiras. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2003.

CECONI, D.E.; POLETTO. I.; LOVATO. T.; MUNIZ, M.F.B. Exigência nutricional de mudas de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St.-Hil.) à adubação fosfatada. *Ciência Florestal*, v. 17, n. 1, p. 25-32, 2007.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILI–ADE DO SOLO - CQFS-RS/SC. Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11. ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciê–cia do Solo - Núcleo Regional Sul, 2016.

ERNANI, P. R. Química do solo e disponibilidade de nutrientes. 2.ed. Lages: O autor, 2016. 256p.

FANO, A. Fontes de enxofre e manejo de nitrogênio na produtividade e qualidade industrial de trigo [dissertação]. Pato Branco: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.

GALETTO, S. L. Eficiência da adubação fosfatada influenciada pela aplicação de gesso agrícola em sistema plantio direto (Tese). Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2018. Banco de Dados Agregados, sistema IBGE de recuperação automática SIDRA. Disponível em: <Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br> >. Acesso em: 03 de dezembro de 2020.

LIN Z.H., CHEN L. S., CHEN R. B., ZHANG F. Z., JIANG H. X., TANG N., SMITH B. R. Root release and metabolism of organic acids in tea plants in response to phosphorus supply. *Journal of Plant Physiology*, 2011. 168:644-652.

LUCAS, F. T.; COUTINHO, E. L. M.; PAES, J. M. V.; BARBOSA, J. C. Produtividade e qualidade de grãos de canola em função da adubação nitrogenada e sulfatada. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina-PR*, v. 34, n. 6, p. 3205-3218, 2013.

MARQUES, A. da C. As paisagens do mate e a conservação socioambiental: um estudo junto aos agricultores familiares do planalto norte catarinense (Tese, curso de Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento da Universidade Federal do Paraná), 2014.

MARTINS, A. P. L., REISSMANN, C. B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. *Scientia Agraria*, 8:1-17, 2007.

MARSCHNER, P. Marschner's Mineral nutrition mineral nutrition of higher plants. 3.ed. London; 2012.

MELO, L. C. A., AVANZI, J. C., CARVALHO, R., DE SOUZA, F. S., PEREIRA, J. L. A. R., MENDES, A. D. R., MACÊDO, G. B. Nutrição e produção de matéria seca de milho submetido a calagem e adubação sulfatada. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 41, n. 2, p. 193-199, 2011.

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*, v. 736, p. 139637, 2020.

NEPAR – Núcleo estadual do Paraná. Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019.

NOVAIS, R. F., MELLO, J. W. V. Relação solo-planta. In: NOVAIS, R. F. et al. *Fertilidade solo*. Viçosa, MG: SBCS, 2007. p. 276-374.

OLIVA, E. V., REISSMANN, C. B., GAIAD, S., DE OLIVEIRA, E. B., STURION, J. A. Composição nutricional de procedências e progênes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) cultivadas em latossolo vermelho distrófico. *Ciência Florestal*, v. 24, n. 4, p. 793-805, 2014.

PANDOLFO, C. M., FLOSS, P. A., DA CROCE, D. M., DITTRICH, R. C. Resposta da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) à adubação mineral e orgânica em um latossolo vermelho aluminoférrico. *Ciência Florestal*, v. 13, n. 2, p. 37-45, 2003.

RADOMSKI, M.I.; SUGAMOSTO, M.L., GIAROLA, N.F.B.; CAMPIOLO, S. Avaliação dos teores de macro e micronutrientes em folhas jovens e velhas de erva-mate nativa. Revista do Instituto Florestal, São Paulo, v.4, pt.2, 1992. p. 453-456

RAIJ, B. van, ANDRADE, J.C., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J.A. (Ed.) Análise química para avaliação da fertilidade do solo. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

REISSMANN, C. B. et al. Avaliação da exportação de macronutrientes pela exportação da erva-mate. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 1985, Curitiba. Anais Curitiba: EMBRAPA; CNPF, 1985. p. 128-139.

REISSMANN, C. B., ROCHA, H. O. DA , KOEHLER, C. W. Bioelementos em folhas e hastes de erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) sobre cambissolo na região de Mandirituba – PR. Curitiba. Floresta, Curitiba, v. 14, n. 2. p. 49-54, 1983.

REISSMANN, C.B., KOEHLER, C.W., ROCHA, H.O. da., HILDEBRAND, E.E. Avaliação das exportações de macronutrientes pela exploração da erva-mate. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS, 10: Silvicultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.), 1985, Curitiba. Anais. Curitiba: EMBRAPA-CNPF, 1985. p. 128-139.

RHEINHEIMER D. S., ALVAREZ J. W. R., OSORIO FILHO B. D., SILVA L. S., BORTOLUZZI E. C. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. Ciência Rural. p. 562-569, 2005.

RIBEIRO, M. M., REISSMANN, C. B., CORRÊA, D. R. Nutrição da erva-mate com sulfato de amônio. Cerne, v. 14, n. 3, 2008.

RIBEIRO, M. M., REISSMANN, C. B., CORRÊA, D. R. Nutrição da erva-mate com sulfato de amônio. Cerne, v. 14, n. 3, 2008.

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

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

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

SANTIN, D., BENEDETTI, E. L., BRONDANI, G. E., REISSMANN, C. B., ORRUTÉA, A. G., & ROVEDA, L. F. Crescimento de mudas de erva-mate fertilizadas com N, P e K. Scientia Agraria, v. 9, n. 1, p. 59-66, 2008.

- SANTIN, D., BENEDETTI, E. L., BRONDANI, G. E., REISSMANN, C. B., ORRUTÉA, A. G., & ROVEDA, L. F. Crescimento de mudas de erva-mate fertilizadas com N, P e K. *Scientia Agraria*, v. 9, n. 1, p. 59-66, 2008.
- SANTIN, D., BENEDETTI, E. L., BRONDANI, G. E., REISSMANN, C. B., ORRUTÉA, A. G., ROVEDA, L. F. Crescimento de mudas de erva-mate fertilizadas com N, P e K. *Scientia Agraria*, v. 9, n. 1, p. 59-66, 2008.
- SANTIN, D., BENEDETTI, E. L., DE BARROS, N. F., DE ALMEIDA, I. C., WENDLING, I. Intervalos de colheita e adubação potássica influenciam a produtividade da erva-mate (*Ilex paraguariensis*) no estado do paraná. *Floresta*, 46(4), 509-518, 2016.
- SANTIN, D., BENEDETTI, E. L., DE BARROS, N. F., FONTES, L. L., DE 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*, 2017, 27.3: 783-797.
- SANTIN, D., BENEDETTI, E. L., DE BARROS, N. F., FONTES, L. L., DE 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*, 2017, 27.3: 783-797.
- SANTIN, D., BENEDETTI, E. L., DE BARROS, N. F., FONTES, L. L., DE 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*, 2017, 27.3: 783-797.
- SOUZA, A. H. P., CORREA, R. C. G., BARROS, L., CALHELHA, R. C., SANTOS-BUELGA, C., PERALTA, R. M., BRACHT, A., MATSUSHITA, M., FERREIRA, I. C. F. R. Phytochemicals and bioactive properties of *Ilex paraguariensis*: an in-vitro comparative study between the whole plant, leaves and stems. *Food Research International* 78: 286-294, 2015.
- SOUZA, A.H.P.; CORREA, R.C.G.; BARROS, L.; CALHELHA, R.C.; SANTOS-BUELGA, C.; PERALTA, R.M.; BRACHT, A.; MATSUSHITA, M.; FERREIRA, I.C.F.R. Phytochemicals and bioactive properties of *Ilex paraguariensis*: an in-vitro comparative study between the whole plant, leaves and stems. *Food Research International* 78: 286-294, 2015.
- SOUZA, J. L. M., de ARAUJO, M. A., REISSMANN, C. B., JÚNIOR, A. M., WOLF, C. S. Teores de nutrientes foliares em plantas de erva-mate em fun o da posi o e orienta o geográfica da copa, em Guarapuava-PR. *Scientia Agraria*, v. 9, n. 1, p. 049-058, 2008.
- TAIZ, L., ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed, 2018. 918p.
- TAIZ, L., ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed, 2018. 918p.
- TIECHER T., SANTOS D. R., ALVAREZ J. W. R., MALLMANN F. J. K., PICCIN R., BRUNETTO G. Respostas de culturas   adubação sulfatada e deposi o de enxofre atmosférico. *Rev Ceres*, v. 60, n. 3, p. 420-427, 2013.

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*, v. 48, n. 3, p. 425-434, 2018.

VANCE C. P., UHDE-STONE C., ALLAN D. L. Phosphorus acquisition and use: Critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytologist*, 2003; 157:423- 447.

WENDLING, I. e SANTIN, D. Propagação e nutrição de erva-mate. Brasília: Embrapa, 2015.