

SAMARA DESCHAMPS GELSLEICHTER

ABSORÇÃO DE ZINCO PELA ERVA-MATE (*ILEX PARAGUARIENSIS*)

Dissertação apresentada ao curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Alves Moreira

LAGES, SC

2020

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Gelsleichter, Samara Deschamps
Absorção de zinco pela erva-mate / Samara Deschamps
Gelsleichter. -- 2020.
34 p.

Orientador: Marcelo Alves Moreira
Coorientadora: Mari Lucia Campos
Coorientador: Davi José Michelluti
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de
Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2020.

1. Erva-mate. 2. Biofortificação agronômica. 3. Adubação com
sulfato de zinco. 4. Absorção. 5. Micronutriente. I. Moreira, Marcelo
Alves. II. Campos, Mari Lucia . Michelluti, Davi José. III.
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.
IV. Título.

SAMARA DESCHAMPS GELSLEICHTER
ABSORÇÃO DE ZINCO PELA ERVA-MATE (*ILEX PARAGUARIENSIS*)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, do Centro de Ciências Agroveterinárias, da Universidade do Estado de Santa Catarina CAV - UDESC, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof^a. Dr. Marcelo Alves Moreira

Banca Examinadora

Co-orientadora: _____

Prof^a. Dra. Mari Lúcia Campos Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC Centro de Ciências Agroveterinárias de Lages - CAV

Membro interno: _____

Prof^a. Dra. Genicelli Mafra Ribeiro
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC Centro de Ciências Agroveterinárias de Lages - CAV

Membro externo: _____

Prof. Dra. Karine Sousa Carsten Borges
Prefeitura Municipal de Lages

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas oportunidades concedidas em minha vida. Acredito que nada é por acaso e que as coisas acontecem como devem ser. Dessa forma todos os caminhos me levaram a retornar para universidade e vivenciar essa experiência de ser aluna da pós graduação.

Aos meus pais, Arlindo Gelsleichter e Veronita Deschamps Gelsleichter pelo apoio incondicional em todas as jornadas da minha vida, são meus maiores apoiadores, entusiastas e exemplos que eu tenho. A eles meu eterno amor, respeito e gratidão.

A minha irmã- Bruna Deschamps Gelsleichter- por sempre ser tão acolhedora, amiga e presente sendo um exemplo de coragem, foco e persistência.

Ao meu namorado Jean Abilio Silva por ter sido meu ombro amigo durante essa jornada. Lembro dos dias conversando sobre o sentido das coisas de como me sentia e era ele que sempre tinha o dom de me acalmar e me deixar mais tranquila. Além de toda paciência nos finais de semana que eu precisava me dedicar a trabalhos, provas, relatórios e traduções. Obrigada meu amor.

Ao meu orientador Dr. Marcelo Alves Moreira por aceitar me orientar, e ter sido tão solícito desde o contato inicial até com a minha decisão em trocar de projeto de pesquisa para algo que eu me identificasse mais, com certeza isso foi decisivo para minha permanência como discente.

A minha coorientadora Dra. Mari Lúcia Campos por me acolher como filha e como membro no laboratório de pesquisa. Por ter me proporcionado tantos conhecimentos profissionais, ensinamentos de vida, oportunidades de aprendizado e de desabafo, por nunca ter me deixado sozinha mesmo nesse período de pandemia que houve o afastamento físico, sempre se fez presente, preocupada com o andamento da dissertação, oportunizando que tudo ocorresse bem. Sempre foi muito mais que uma professora, ela realmente se preocupa com cada pessoa que passa na vida dela, principalmente com a saúde mental de cada aluno. A você prof. meu eterno agradecimento, carinho e respeito.

A todos os integrantes do laboratório de levantamento de análise ambiental por me acolherem e me darem suporte. Principalmente ao Andrei que sempre foi muito solícito me auxiliando nas demandas do dia a dia e claro, a Heloísa por ter feito parte de todo o desenvolvimento da pesquisa do início ao fim.

Agradeço a todos os professores da Universidade do Estado de Santa Catarina que eu tive a oportunidade de ser discente, muito obrigada a contribuição de cada um.

Agradeço a CAPES, pela concessão da bolsa. Ao IFSC pela realização de algumas análises.

E a todos os amigos que contribuíram para que esse mestrado desse prosseguimento meu muito obrigada!

RESUMO

GELSLEICHTER Samara. Absorção de Zinco pela erva-mate (*Ilex paraguariensis*). 2020. 34p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Lages, 2020.

A deficiência de zinco representa um problema de saúde pública em países desenvolvidos e em desenvolvimento. A deficiência desse micronutriente na alimentação humana afeta a imunidade, resulta em hipogeusia, danos neurológicos e dermatites. Para resolver esse problema uma das estratégias consiste na biofortificação agrônoma que tem por objetivo aumentar a concentração de determinados micronutrientes, sendo que uma das formas é por meio da adubação. A erva-mate (*Ilex paraguariensis*) pode ser uma planta com potencial para programas de biofortificação. Essa planta possui propriedades nutracêuticas e terapêuticas, além de ter macronutrientes (Ca, P, Fe e K), micronutrientes (vitaminas e minerais) e compostos fenólicos que combatem os radicais livres. O objetivo do presente estudo foi avaliar o teor de Zn na parte aérea (folhas e ramos) e o limite crítico de Zn para plantas de erva-mate submetidas a adubação com sulfato de Zn. O experimento foi conduzido em casa de vegetação no município de Lages. O solo utilizado foi o Cambissolo Háplico Distrófico Típico, o qual foi submetido a análise química (Tedesco et al., 1995) e granulométrica (EMBRAPA, 1997). O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. As unidades experimentais foram compostas por vasos contendo 6 kg de solo, cinco doses de Zn (0, 100, 200, 300 e 400 mg.kg⁻¹) e sete repetições, totalizando 35 unidades experimentais. Foram realizadas análises antes da colheita (Índice SPAD, altura e Infrared Gas Analyser - IRGA) e análises após a colheita (peso fresco e seco de parte aérea). O teor dos nutrientes Ca, Mg, Cu, e Zn na parte aérea foram determinados utilizando-se o método de extração USEPA 3050B e quantificação em espectrômetro de emissão atômica com plasma acoplado por indução (ICP-OES). Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância, com normalidade testada pelo teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade de variâncias pelo teste de Levene, a nível de significância de 5%. A aplicação de doses crescentes de Zn ao solo resultou em aumento do teor de Zn na parte aérea de forma linear. O teor médio de Zn na folha variou de 27 mg kg⁻¹ na ausência de aplicação de Zn a 883 mg kg⁻¹ na dose aplicada de 400 mg kg⁻¹. Não houve diferença estatística para massa fresca, seca de parte aérea, índice SPAD, altura, condutância estomática e transpiração indicando ausência de estresse oxidativo, o que impossibilitou a obtenção do limite crítico de Zn para erva-mate.

ABSTRACT

GELSLEICHTER Samara. **Zinc absorption by yerba mate (*Ilex paraguariensis*)**. 2020. 34p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Lages, 2020.

Zinc deficiency represents a public health problem in developed and developing countries. The deficiency of this micronutrient in human nutrition affects immunity, results in hypogeusia, neurological damage and dermatitis. To solve this problem, one of the strategies consists of agronomic biofortification, which aims to increase the concentration of certain micronutrients, one of which is through fertilization. Yerba mate (*Ilex paraguariensis*) can be a plant with potential for biofortification programs. This plant has nutraceutical and therapeutic properties, in addition to macronutrients (Ca, P, Fe and K), micronutrients (vitamins and minerals) and phenolic compounds that fight free radicals. The objective of the present study was to evaluate the Zn content in the aerial part (leaves and branches) and the critical limit of Zn for yerba mate plants submitted to fertilization with Zn sulfate. The experiment was conducted in a greenhouse in the municipality of Lages. The soil used was the Typical Cambisolo Háplico Dystrophic, which was subjected to chemical (Tedesco et al., 1995) and granulometric (EMBRAPA, 1997) analysis. The experimental design used was completely randomized. The experimental units were composed of pots containing 6 kg of soil, five doses of Zn (0, 100, 200, 300 and 400 mg.kg⁻¹) and seven replications, totaling 35 experimental units. Analyses were performed before harvesting (SPAD Index, height and Infrared Gas Analyzer - IRGA) and analyses after harvesting (fresh and dry aerial weight). The content of nutrients Ca, Mg, Cu, and Zn in the aerial part were determined using the USEPA 3050B extraction method and quantification in an atomic emission spectrometer with induction coupled plasma (ICP-OES). The data obtained were subjected to analysis of variance, with normality tested by the Shapiro-Wilk test and homogeneity of variances by the Levene test, at a significance level of 5%. The application of increasing doses of Zn to the soil resulted in a linear increase in the Zn content in the aerial part. The average Zn content in the leaf varied from 27 mg kg⁻¹ in the absence of Zn application to 883 mg kg⁻¹ at the applied dose of 400 mg kg⁻¹. There was no statistical difference for fresh, dry shoot weight, SPAD index, height, stomatal conductance and perspiration indicating absence of oxidative stress, which made it impossible to obtain the critical limit of Zn for yerba mate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa da área de ocorrência natural da erva-mate.....	13
Figura 2 Área plantada de erva-mate no Brasil nos últimos 3 anos	15
Figura 3 Foto do experimento	20
Figura 4 Foto representando o momento em que se realizou o índice SPAD	22
Figura 5 Foto de uma das raízes enviadas para realização do scanner de raiz	23
Figura 6 Teor de Zn nas folhas de erva mate em função das doses de Zn aplicados no solo	25
Figura 7: Teores médios de Ca, Mg, P e Cu na parte aérea d erva mate em função das doses crescentes de Zn aplicados ao solo	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Área plantada de erva-mate no Brasil nos anos de 1991,2001, 2016, 2017 e 2018	15
Tabela 2: Caracterização química e argila de um Cambissolo Háplico Distrófico	21
Tabela 3: Valor para cada variável obtida pela divisão da média das doses 100, 200, 300 e 400 mg kg ⁻¹ pela média da testemunha.....	26
Tabela 4: Valor para cada variável obtida pela divisão da média das doses 100, 200, 300 e 400 mg kg ⁻¹ pela média da testemunha	27

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CAV- Centro de Ciências Agroveterinárias
CC- Capacidade de Campo
Ca- Cálcio
Cu- Cobre
CTC- Capacidade de troca de cátions
EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPAGRI- Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
 H_2O_2 -Peróxido de hidrogênio
IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IzINCG -Grupo Consultivo Internacional de Nutrição de Zinco
IFPRI- Instituto Internacional de Pesquisa em Políticas Alimentares
IRGA - Infrared Gas Analyser
IFSC- Instituto Federal de Santa Catarina
UDESC- Universidade do Estado de Santa Catarina
Mg- Magnésio
mg kg⁻¹ Miligramas por kilo
MS- Mato grosso do Sul
MERCOSUL- Mercado Comum do Sul
NaOH- Hidróxido de Sódio
P- Fósforo
pH- Potencial Hidrogênio
PR Paraná
PS Peso seco
PF Peso Fresco
SPAD- Soil Plant Analysis Minivolta
Zn- Zinco
 $ZnCO_3$ Carbonato de Zinco
 $Zn(OH)_2$ Hidróxido de Zinco

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
1.1 HIPÓTESES	8
1.2 OBJETIVOS.....	10
1.2.1 Objetivo geral	10
1.2.2 Objetivo específico.....	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	11
2.1 CACTERÍSTICAS GERAIS	11
2.2 DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE	11
2.3 HISTÓRICO E USO DA PLANTA	13
2.4 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA	14
2.5 IMPORTÂNCIA DO ZINCO PRA SAÚDE HUMANA	15
2.6 BIOFORTIFICAÇÃO	17
2.7 ZINCO PARA SAÚDE HUMANA	18
2.7.1 MECANISMOS DE ABSORÇÃO E TRANSLOCAÇÃO DO ZINCO	19
3. MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	23
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
4.1 PARÂMETROS ANALISADOS	24
4.2 CRESCIMENTO E FOTOSSÍNTESE	25
4.3 TEOR DE ZN NA PARTE AÉREA E SAÚDE HUMANA	28
5. CONCLUSÃO	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1. INTRODUÇÃO

A Erva-mate é uma espécie florestal com área de ocorrência natural na região Sul do Brasil, Nordeste da Argentina e Leste do Paraguai, botanicamente chamada de *Ilex paraguariensis* St. Hill. Na região Sul devido ao hábito populacional de utilizá-la no preparo de bebida quente –chimarrão, é conhecida regionalmente.

A *Ilex paraguariensis* St. Hill. Possui importância econômica, social e cultural. A exploração econômica da Erva-mate no Brasil, ocorre em mais de quatrocentos municípios produtores, gerando mais de 700 mil empregos em toda a cadeia produtiva além de contribuir para o faturamento financeiro do país (IBRAMATE, 2018), socialmente está envolvida na geração de renda dos produtores familiares que trabalham nos ervais. Culturalmente está associada a tradição familiar que é passada de geração a geração.

O uso da planta tradicionalmente conhecido são as infusões, porém seu uso pode ir muito além disso, sua utilização na área estética compõe cremes e máscaras faciais que tem por finalidade redução dos radicais livres presentes na pele. Na culinária o uso é para o preparo de pães, bolos, barra de cereais, pudins dentre outros. Na indústria alimentícia serve para compor balas e gomas, além do uso na indústria farmacêutica por meio de encapsulados, comprimentos, e extratos visando as propriedades medicinais. O desenvolvimento tecnológico de novos produtos, bem como a expansão do mercado consumidor, tanto interno quanto externo, é de relevante importância para diversificação do público alvo e dessa forma conseguir ampliar a distribuição geográfica dos consumidores de erva-mate.

A erva mate apresenta diversos grupos químicos, como saponinas, alcaloides (cafeína, teobromina, teofilina), compostos fenólicos (ácido cafeico, rutina e 5-CQA) e óleos essenciais, além de vitaminas e nutrientes que a levam a ter uma série de benefícios para saúde (MALAVOLTA, 2001).

Os compostos fenólicos são responsáveis por proteger o organismo contra os danos oxidativos gerados pelos radicais livres (SCHINELLA et al., 2000). O consumo regular de substâncias bioativas com atividade antioxidante pode reduzir o risco de doenças crônicas e degenerativas (CHENG et al., 2001). A erva-mate, utilizada como chá ou chimarrão, não é apenas uma bebida estimulante, é também uma fonte importante de minerais essenciais e vitaminas (STTAGG; MILIN, 1975). Segundo Ramalho et al. (1998) entre os minerais essenciais presente na infusão estão o Ca, P, Fe e K, sendo que seus teores equivalem a 10,0; 6,0; 15,9 e 19,5% da ingestão diária recomendada (IDR) para um adulto, respectivamente. Essa composição química da erva-mate é influenciada por condições

agronômicas de plantio, de manejo adotado, bem como pelas condições de extração de suas folhas. Por isso a importância de ter-se um manejo adequado para manter ou aumentar o valor nutricional do alimento.

Uma das técnicas para aumentar a concentração de micronutrientes nos vegetais é a biofortificação agronômica (Cakmak, 2008) que tem como intuito suprir a demanda diária necessária de micronutrientes que muitas vezes se encontra em déficit, principalmente em pessoas que vivem em países em desenvolvimento. Dentre os nutrientes com maior frequência de deficiência destacam-se ferro (Fe), iodo (I), selênio (Se) e o zinco (Zn).

A deficiência de Zn em humanos interfere no funcionamento do sistema imunológico, que consequentemente pode gerar maiores chances de se ter infecções, prejudica o crescimento físico, retarda capacidade de aprendizagem além de estar relacionado a danos no desenvolvimento do DNA. (Demment et al., 2003; Hotz et al., 2004; Gibson, 2006; Prasad, 2007).

A erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil) pode ser uma planta com potencial para programas de biofortificação com Zn. É uma planta calcífuga, ou seja, que se desenvolve bem em solos ácidos e com altos teores de alumínio e outros elementos-traço (Carvalho, 2003), o que, pode indicar que a erva-mate possui capacidade de responder ao aumento de Zn (elemento-traço) no solo, aumentando por consequência o teor na parte aérea e na infusão (chimarrão). Dessa forma o objetivo dessa pesquisa foi avaliar o teor de Zn na parte aérea (folhas e ramos), e determinar o limite crítico de Zn para plantas de erva-mate submetidas a adubação com sulfato de Zn a fim de verificar seu potencial para uso em biofortificação agronômica.

HIPÓTESES

A adubação com sulfato de Zinco (Zn) na cultura da erva-mate gera um aumento no teor de zinco nas folhas e nos ramos, porém adubação com doses de Zn superiores a 200 mg.kg⁻¹ gera estresse oxidativo

1.1 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar o teor de Zn na parte aérea (folhas e ramos), e determinar o limite crítico de Zn para plantas de erva-mate submetidas a adubação com sulfato de Zn.

1.2.2 Objetivos específicos

Avaliar o desenvolvimento das raízes e parte aérea das plantas de erva mate submetidas a adubação com doses crescente de Zn.

Avaliar o efeito das doses crescente de Zn na fotossíntese e trocas gasosas em plantas de erva mate.

Calcular o limite crítico de Zn para plantas de erva-mate submetidas a adubação com sulfato de Zn.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CARACTERÍSTICAS GERAIS

O nome científico *Ilex paraguariensis* designa a planta que dará origem ao produto “erva-mate”. Foi assim classificada pelo viajante e pesquisador francês Auguste de Saint-Hilaire no início do século XIX. Pertence ao grupo das Angiospermas, família Aquifoliaceae e gênero *Ilex* (VALDUGA et al., 1997).

Como características botânicas as folhas são perenes, simples, alternadas, subcoriáceas até coriáceas. Não possuem a presença de pelos e por isso são chamadas de glabras, são de cor verde-escuro na parte superior e mais claras na parte inferior. O limbo foliar é do tipo obovado, com margens do tipo serrilhadas, tendo nervuras laterais bem visíveis na parte inferior e pouco impressas na parte superior (OLIVA, 2007).

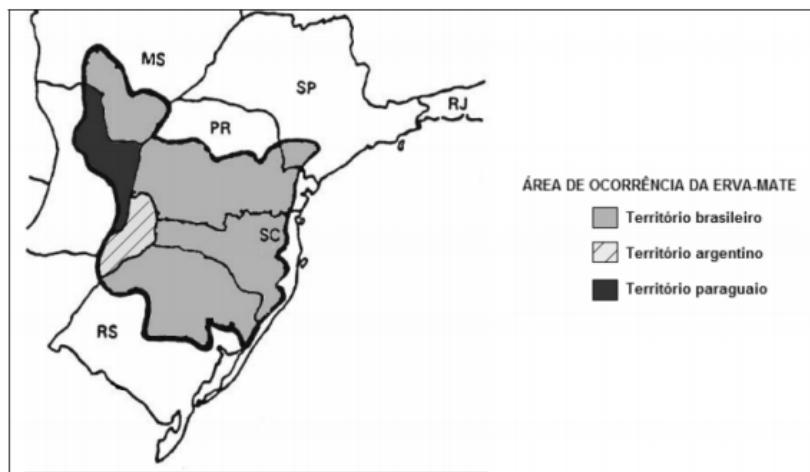
A planta de maneira geral possui copa baixa, variando de altura conforme o manejo adotado. Para fins comerciais, busca-se cultivares de porte menor, oriundas do melhoramento genético, que variam entre 3 a 5 metros, porém encontram-se árvores em florestas com 25 metros de altura (CARVALHO, 2003).

A erva mate ocorre de forma espontânea em solos de baixa fertilidade, CTC (capacidade de troca de cátions) e pH, e com altos teores de alumínio. (Medrado et al, 2000). Segundo Carvalho (1994), o solo ideal para o cultivo é o da ordem dos Latossolos, quando possuem cor avermelhada, alta profundidade, elevado teor de argila, ótimas condições físicas, principalmente permeabilidade, mediana fertilidade com pH ácido em todo o perfil. E a associação das características anteriores com altos teores de matéria orgânica formaria o tipo de solo mais indicado.

2.2 DISTRIBUIÇÃO DA ESPÉCIE

A ocorrência natural da *Ilex paraguariensis* se delimita a três países: Brasil, Paraguai e Argentina, abrangendo cerca de 540.000 Km² (OLIVA, 2007). No Brasil a erva-mate, distribui-se principalmente nos Estados de Santa Catarina, Paraná, Rio Grande do Sul e Mato Grosso do Sul. Em regiões de maior altitude como Minas Gerais, e São Paulo também são encontrados, porém, a maior parte está localizada na região Sul do país (ANDRADE,2003; GERHARDT 2013).

Figura 1 - Mapa da área de ocorrência natural da erva-mate



Fonte: (OLIVEIRA; ROTA, 1985)

2.3 HISTÓRICO E USO DA PLANTA

O uso da erva-mate é conhecido desde o século XVI pelos povos indígenas, que coletavam as folhas e as trituravam em um porongo, adicionavam água e com auxílio de um pedaço de bambu faziam a sucção do líquido. Esse costume foi repassado para os Jesuítas que consumiam a bebida quando faziam a evangelização. Já os paulistas e portugueses a conheceram por meio da busca de território e colonização (QUEIROZ, 1981; GERHARDT 2013).

A erva-mate é explorada com o objetivo de consumir seus diferentes produtos. Para isso ela passa por um processo de extração das folhas e ramos para posterior beneficiamento. Esse processo é composto de secagem, moagem e empacotamento (HEINRICH & MALVOLTA, 2001).

Dos vários produtos oriundos da erva-mate, os que são de maior conhecimento por parte da população são o chimarrão (infusão com água quente), o chá mate e o tererê (chá gelado), sendo o chimarrão e o chá mate as bebidas típicas mais consumidas em países do MERCOSUL (ROTTA; OLIVEIRA, 2005).

Além desses produtos, a erva-mate está sendo utilizada em processos industriais como na formulação de produtos estéticos, alimentícios e até mesmo medicamentosos. Porém, as indústrias não informam nos rótulos a presença da erva-mate, mas sim do componente que é utilizado como: extrato de saponina,

cafeína, teobromina, óleo essencial e flavonoides) por esse motivo boa parte da população desconhece esse tipo de uso. (JUNIOR, 2005).

Na indústria alimentícia temos a utilização da clorofila e do óleo essencial como insumo de balas, gomas e chicletes. Em medicamentos temos o uso do extrato de cafeína e teobromina como estimulante do sistema nervoso central, no tratamento de hipertensão, bronquite e pneumonia (MAZUCHOWSKI; RÜCKER 1997).

São os diferentes grupos químicos que a erva-mate apresenta em sua composição que conferem a ela esses inúmeros usos. Dentre eles tem-se: saponinas, alcaloides, fenólicos e óleos essenciais que atuam como antioxidantes, estimulantes, combatendo micróbios e realizando a eliminação da retenção de líquidos. Vitaminas também são presentes na sua composição: vitamina A, C, B1 e B2, assim como os minerais; magnésio, cálcio, ferro, sódio e potássio (SIMÕES., et al 2001).

Esses compostos estão associados a uma série de benefícios para saúde humana. Foram realizados experimentos para comprovação, sendo a maioria feita com ratos. O substrato utilizado foi o extrato da erva (sólido) ou o chá (líquido) os resultados obtidos foram; a perda de peso, ação anticonvulsivante, antidepressiva, atenuação; da glicemia e do colesterol (RESENDE et al., 2012; ARÇARI et al., 2011; MARTIN et al., 2013; ARZI et al., 2011; REIS et al., 2013; PEREIRA et al., 2012;).

2.4 IMPORTÂNCIA ECONÔMICA

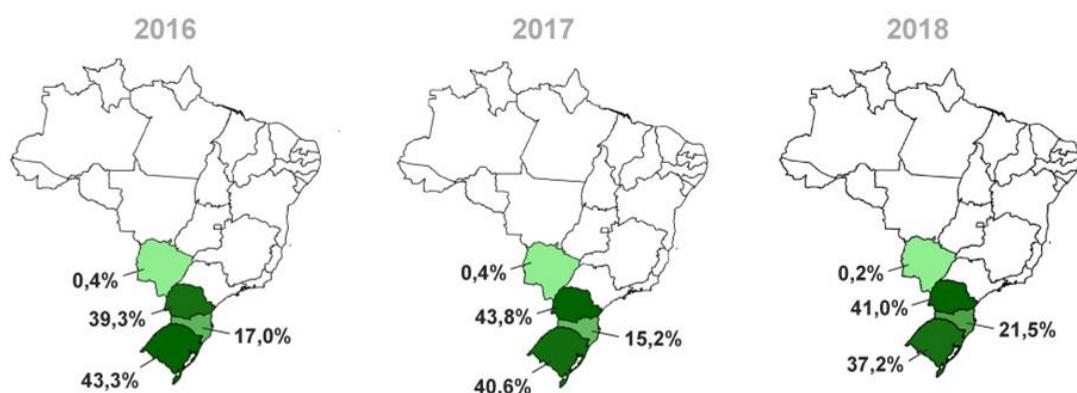
Segundo o Instituto Brasileiro de geografia e estatística (IBGE) a área plantada de erva-mate em 2018 foi de 77.731 hectares (tabela 1) com produção de 546.618 toneladas. O valor real das exportações brasileira de Erva-mate, passou de US\$ 25,6 milhões em 2005, para US\$ 82,3 milhões em 2016, gerando um retorno econômico maior do que 79 mil dólares em exportação para o país (IBRAMATE, 2018).

A exploração econômica da Erva-mate no Brasil, ocorre em cerca de 486 municípios dos estados do RS, SC, PR e MS, englobando cerca de 180 mil propriedades rurais, a maioria familiares, congregando em torno de 500 indústrias, gerando mais de 700 mil empregos em toda a cadeia produtiva (MEDRADO et al., 2004, EMBRAPA, 2015).

A área plantada nos últimos três anos variou pouco, ficando em torno de 77 mil hectares plantados. Porém, o histórico das áreas, nos últimos 27 anos, é notável o aumento de território destinado ao plantio da erva-mate, de 10 mil hectares (1991) para pouco mais de 77 mil hectares em cultivo.

Ainda que grande parte da “área ervateira” esteja em território brasileiro, a Argentina é o maior produtor mundial ficando o Brasil com a segunda posição. Isso se deve ao sistema de produção agrícola, os ervais argentinos possuem maior número de plantas por área o que confere uma maior quantidade de erva produzida, enquanto que os ervais brasileiros tanto em SC quanto no PR são em maior parte, ervais nativos onde não se teve um planejamento de plantio como é feito nas áreas para essa finalidade (JUNIOR, 2005).

Figura 2: Área plantada de erva-mate no Brasil nos últimos 3 anos.



Fonte: IBGE. Disponível em: <http://sindimaters.com.br/pagina.php?cont=estatisticas.php&sel=9>

Tabela 1: Área plantada de erva-mate no Brasil nos anos de 1991, 2001, 2016, 2017 e 2018.

	1991	2001 hectares(ha)	2016	2017	2018
PR	892	42658	30388	33239	31869
SC	1470	13022	13182	11523	16728
RS	7864	40045	33445	30780	28948
MS	0	1178	310	268	186
BR	10226	96903	77325	75810	77731

Fonte: Dados disponíveis em [http://sindimaters.com.br/pagina.php?cont=estatisticas.php&sel=9_\(2018\)](http://sindimaters.com.br/pagina.php?cont=estatisticas.php&sel=9_(2018)).

2.5 IMPORTÂNCIA DO ZINCO PRA SAÚDE HUMANA

O Zinco tem sua importância datada desde 1869 quando Jules Raulin descobriu que o *Aspergillus Níger* necessitava desse mineral para se desenvolver. Em 1909 descobriu-se a importância do Zn para o cultivo das plantas, na época especificamente para cultura do milho. Passado mais alguns anos, em 1934, constatou-se a essencialidade do mineral para ratos (MAFRA; COZZOLINO, 2004). Em 1961, descobriu-se que a falta de Zn causava prejuízos a saúde humana (COMINETTI; COZZOLINO, 2009).

Os estudos seguiram e hoje sabe-se que o Zn atua com função estrutural e funcional, participando de mais de 300 metaloenzimas e metaloproteínas, participando nos processos de diferenciação celular, crescimento estatural, desenvolvimento neurológico e defesa imunológica-(SZCKUREK 2001).

Os níveis de ingestão adequada de zinco variam conforme⁺ idade, sexo, e fase de vida (lactante ou grávida). Em média um adulto do sexo masculino deve consumir 9,4 µg/dia, enquanto que uma mulher adulta 6,8 µg/dia. Quando a mulher está grávida ou em período de amamentação essa quantidade aumenta pra em média 10,5 µg/dia. Existe um limite máximo tolerado de ingestão diária que fica em torno de 34 µg/dia (INSTITUTO DE MEDICINA, 2002)

O Zinco pode ser obtido através da alimentação. As fontes com maior concentração do elemento são os frutos do mar e as proteínas, com destaque para ostra. Segue alguns alimentos (valores com base em 100 g); ostras cruas 90,8 mg de Zn, caranguejo cozido 5,7 mg de Zn, farinha de arroz 8,5 mg e de Zn, carne moída cozida 8,1 mg de Zn, farinha de soja 4,5 mg de Zn, castanha de caju torrada 4,7 mg de Zn, sendo que frutas 0,1-1,0 mg de Zn e verduras (0,1-1,3 mg de Zn) não apresentam grandes quantidades desse elemento (UNICAMP, 2011).

Levando em conta que a ingestão de proteínas e frutos do mar não é algo recorrente para a maioria das pessoas, pode-se estar em deficiência desse elemento.

Pesquisas levam em conta três indicadores para quantificar a deficiência de Zn populacional. Indicador: bioquímico, dietético (ingestão dietética de zinco inadequada), e funcional (déficit de estatura para idade em crianças) (PEDRAZA,2015). A sua falta ou baixa concentração está relacionado com o retardado de crescimento, a falta de apetite, a letargia mental, a pele áspera, a recorrentes infecções e a capacidade cognitiva prejudicada (PRASAD, 2009).

Um terço da população mundial se encontra sujeita a índices altos de deficiências de Zn, enquanto metade da população apresenta risco moderado segundo dados do IZINCG (Grupo

Consultivo Internacional de Nutrição de Zinco). O Brasil enquadra-se em um nível de risco médio, sendo que uma parcela de 20,3% da população apresenta risco de ingestões inadequadas do mineral e 10,5% das crianças têm crescimento deficitário (COMINETTI & COZZOLINO, 2008).

2.6 BIOFORTIFICAÇÃO

O ser humano necessita de pelo menos 49 nutrientes para satisfazer suas necessidades biológicas. O déficit de algum deles leva a distúrbios fisiológicos, gerando doenças que podem levar à morte. Dentre os micronutrientes prevalece a deficiência de Zinco, vitamina A e ferro (BOUIS; WELCH 2010), essa deficiência nutricional, chamada de fome oculta, é um problema de saúde pública que acomete mais de 2 bilhões de pessoas no mundo (FAO,2013).

O objetivo da técnica de biofortificação é de combater essas deficiências causadas por micronutrientes (MANOS; WILKINSON, 2016). As primeiras pesquisas foram realizadas pelo economista Howarth Bouis no Instituto Internacional de Pesquisa em Políticas Alimentares (IFPRI) na década de 90, pelo programa internacional HarvestPlus (Vergütz et al., 2016). No Brasil, os trabalhos com biofortificação surgiram no ano de 2004 coordenados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) chamado de Biofort (BOLIANE, 2012).

Os alimentos biofortificados são escolhidos com foco na população que mais carece desses micronutrientes e por isso são direcionados para alimentos básicos e tradicionalmente consumidos pelas famílias como; feijão, arroz, milho, feijão caupi, mandioca, batata doce, trigo e abóbora (GONÇALVES et al., 2015).

A forma como os alimentos são enriquecidos varia conforme a técnica empregada. Tem-se a biofortificação; agronômica e a genética. Sendo que a primeira consiste em manejar a cultura com aplicação de adubos, por meio do tratamento de semente, da adubação via solo ou via folha (WELCH, 2008), a aplicação de biofertilizantes (inoculação com fungos micorrízicos), a rotação de culturas e a irrigação também são práticas que podem ser adotadas (MORAES., et al 2009). Já biofortificação genética é realizada por meio do processo de seleção natural das plantas ou por modificação dos seus genes. O melhoramento genético convencional é aquele que acontece por meio do cruzamento das plantas com melhor desempenho levando a seleção das características desejáveis. Já o melhoramento por meio da engenharia genética visa

a manipulação dos genes, eliminação, modificação ou adição por meio da biologia molecular (CAKMAK, 2008).

Além da biofortificação alimentar, existem outras estratégias para combater a fome oculta como a fortificação, suplementação e a educação nutricional. A fortificação consiste em adicionar nutrientes aos alimentos através do processamento pós-colheita. Na suplementação os nutrientes são colocados em pílulas e na educação nutricional objetiva-se por meio de projetos levar conhecimento educacional por meio da diversificação alimentar (HARVEST,2004).

A fortificação e a suplementação apresentam limitações por conta da infraestrutura, para que as pessoas possam ter acesso a esse tipo de estratégia nutricional a região necessita ser desenvolvida (HARVEST,2004).

Uma das estratégias mais rápidas de aumentar o teor de micronutriente nos alimentos, consiste na biofortificação agronômica priorizando adubos com maior solubilidade para o sucesso da técnica (CAKMAK, 2008), dessa forma melhorando a dieta e a saúde tanto humana quanto animal (REIS et al., 2014).

2.7 ZINCO NA PLANTA

O Zinco atua preferencialmente como cátion divalente, ligando enzimas a seus substratos, formando complexos tetraédricos com nitrogênio e oxigênio, e ligando enxofre a compostos orgânicos (KIRKBY; ROMHELD 2007).

As enzimas vegetais que são ativadas pelo Zn estão envolvidas em metabolismos, manutenções e sínteses, como no metabolismo dos carboidratos, na síntese de proteínas, mantendo a integridade das membranas celulares, por meio da orientação das macromoléculas, do sistema de transporte de íons, e da interação com fosfolipídios, grupos sulfidrila e proteínas (ALLOWAY, 2004; DANG., et al 2010).

Esse elemento também participa na regulação da síntese de auxina (Marschner, 1995), uma vez que pra se ter o hormônio é necessário acontecer a síntese de triptofano o qual requer Zn (BRENNAN, 2005).

O limiar de toxicidade do Zn varia entre espécies de plantas e ao tempo de exposição a esse elemento (HAFEEZ., et al 2013). Esta deficiência resulta no desenvolvimento de anormalidades nas plantas como crescimento atrofiado, clorose, folhas menores, esterilidade das espiguetas. Pode também interferir na qualidade dos produtos colhidos; suscetibilidade das plantas a lesões por alta intensidade de luz ou temperatura e a doenças (CAKMAK,2000).

2.7.1 MECANISMOS DE ABSORÇÃO E TRANSLOCAÇÃO DO ZINCO

A transferência de nutrientes do solo para planta é um processo complexo, governado por fatores naturais e antrópicos (Kabat,2004). As reações de adsorção de Zn pelo solo variam conforme as propriedades químicas com destaque para pH, CTC, matéria orgânica, cátions e ânions solúveis e as características mineralógicas, tipo e teor de argila, óxidos e hidróxidos de Al e Fe (Shuman, 1975).

Solos com pH acima de 6,0, são mais propensos a formação de compostos insolúveis como; $Zn(OH)_2$ e $ZnCO_3$ tornando o elemento pouco disponível (Lindsay, 1991).

O teor de Zn presente no solo varia entre 10 a 300 $mg\cdot kg^{-1}$ sendo o valor médio de 50 $mg\cdot kg^{-1}$ (Kabata,2000). Solos derivados de granitos e gnaisses são os que apresentam menores conteúdos de Zn, enquanto os derivados de rochas sedimentares são os que possuem maiores concentrações desse elemento (Oliveira,2019).

Quanto à forma de transporte de Zn, a principal é a difusão, por meio dela que o elemento chega até as raízes para absorção (WILKINSON et al., 1968), outra forma é o fluxo de massa (Sharma e Deb, 1987).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Solos e Recursos Naturais, localizado no Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC-CAV).

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado e as unidades experimentais foram compostas por vasos com capacidade para 7 Kg contendo 6 Kg de solo. O experimento foi realizado com 5 doses crescentes de zinco (0, 100, 200, 300 e 400 mg.kg⁻¹) na forma de sulfato de zinco, sendo que, cada dose era composta por 7 repetições, totalizando 35 unidades experimentais. A Resolução CONAMA 420/2009 estipula 300 mg.kg⁻¹ como valor orientador de prevenção (<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=620>)

O solo utilizado foi um Cambissolo Háplico Distrófico Típico derivado de arenito botucatu, coletado na localidade de Pedras Brancas/SC. Esse solo foi seco ao ar, tamisado em peneira de malha 4 mm, retirada uma amostra para realização da; análise granulométrica (método do densímetro de Boyoucus, EMBRAPA,1997), e análise química (Tedesco et al., 1995). Os micronutrientes Cu e Zn foram extraídos em HCl 0,1 M e quantificados em espectrofotômetro de absorção atômica com atomização em chama ar acetileno (EAA Perkin Elmer 200 ®). A CTC foi determinada a pH do solo através da soma dos cátions Ca, Mg, Na, K e Al, e em pH 7, pela soma dos cátions anteriores juntamente com o H⁺.

Figura 3: Foto do experimento.



Fonte: Heloisa Milesky Alves (2020)

Tabela 2: Caracterização química e argila de um Cambissolo Háplico Distrófico
Típico utilizado na condução do experimento.

pH	Al	Ca	Mg cmol _c dm ⁻³	K	T	V %	P	Zn mg Kg ⁻¹	Cu mg Kg ⁻¹	Fe	Arg. g Kg ⁻¹	CO g Kg ⁻¹
4,4	3,45	0,22	0,34	0,26	4,22	3,6	4,1	0,9	2,1	77,6	240	15

T - Capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V - Saturação por bases; Arg. – Argila; CO -Carbono orgânico.

As mudas de erva-mate utilizadas foram provenientes da empresa Eucatflora Florestal, sendo estas certificadas pela EPAGRI Chapecó. O pH do solo foi corrigido para 5,5. Antes do plantio foi realizado a adubação com sulfato de zinco e uma semana após o plantio a adubação com superfosfato triplo (SFT), cloreto de potássio e ureia, nas quantidades 20, 20 e 30 kg/ha respectivamente. A adubação foi realizada de acordo com o manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina, seguindo as recomendações para a cultura. Durante toda a condução do experimento o teor de umidade do solo foi mantido a 75% da capacidade de campo (CC).

Analises antes da colheita

A medida do índice SPAD foi feita através do medidor portátil de clorofila SPAD 502 (Konica Minolta®) com objetivo de obter os valores de intensidade do verde das folhas, sendo coletado durante o experimento em dois momentos (30 dias após o plantio e no dia da colheita). Para tanto, foram selecionadas folhas totalmente expandidas, sem injúrias ou sintomas de doenças visíveis. As medidas foram realizadas no terço médio das plantas, sempre em duplicata, em todas as plantas de cada repetição. A medida da altura da planta foi realizada no dia da colheita padronizada por meio da medida da base da planta até a inserção da última folha no caule. No dia da colheita foi realizada as medidas de taxa fotossintética líquida (A) das plantas com auxílio de analisador de gases por infravermelho portátil (IRGA) equipado com uma câmara foliar com fonte de LED (LI-6400XT Portable Photosynthesis and Fluorescence System; LICOR, Lincoln, EUA). Esta leitura foi realizada na mesma folha selecionada para a leitura do índice SPAD. A colheita foi realizada quando da estabilização do crescimento da planta de erva-mate.

Figura 4: Foto representando o momento em que se realizou o índice SPAD.



Fonte: Heloisa Milesky Alves (2020)

Análises após a colheita

Após a colheita foram avaliados o peso fresco e seco de parte aérea (folhas e ramos), e o teor dos nutrientes Ca, Mg, Cu, e Zn na parte aérea. Os teores dos nutrientes foram determinados utilizando-se o método de extração USEPA 3050 B e quantificação em espectrômetro de emissão atômica com plasma acoplado por indução (ICP-OES). A confiabilidade do método foi aferida utilizando material referência de solo CRM-Agro E2002a EMBRAPA.

As raízes foram limpas e lavadas com água destilada, e mantidas em uma solução de álcool 50%, para posterior determinação de parâmetros radiculares tais como volume, diâmetro médio e comprimento radicular. Para determinação de tais parâmetros, as raízes foram distribuídas uniformemente em cuba de vidro preenchida por lâmina de água destilada, sem sobreposição, e submetidas à digitalização em scanner profissional. As imagens obtidas do processo de scanner foram processadas através do programa computacional WinRhizo. Figura 4: Foto de uma das raízes enviadas para realização do scanner de raiz.

Figura 5: Foto de uma das raízes enviadas para realização do scanner de raiz.



Fonte: Heloisa Milesky Alves (2020)

3.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância, com normalidade testada pelo teste de Shapiro-Wilk e a homogeneidade de variâncias pelo teste de Levenne, a nível de significância de 5%. As análises foram realizadas utilizando o programa R® (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2012).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TEOR DE ZINCO NA FOLHA

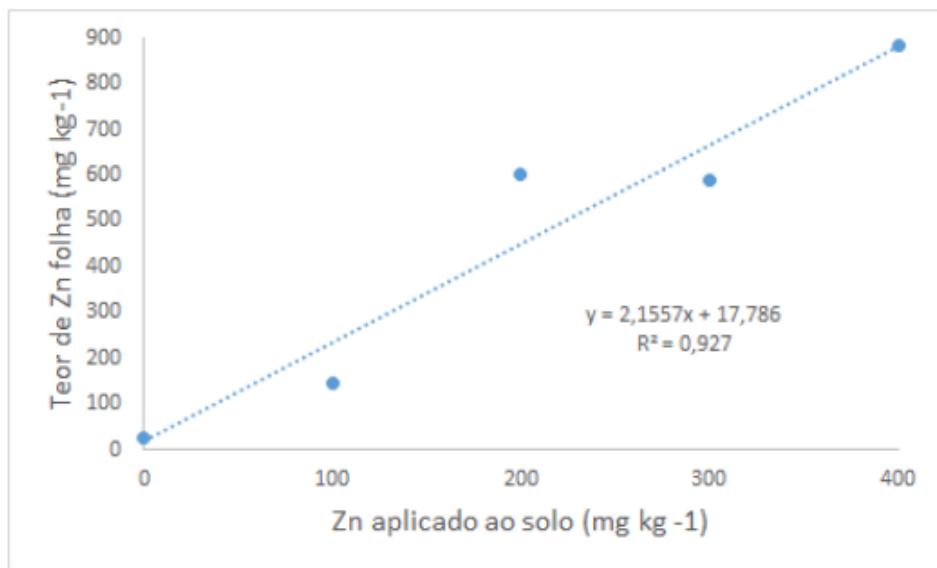
O aumento do teor de Zn aplicado no solo resultou em aumento linear do Zn na folha (figura 6). O teor de Zn da parte aérea na testemunha foi em média $27,22 \text{ mg kg}^{-1}$ enquanto que na dose 400 mg kg^{-1} o teor foi $883,03 \text{ mg kg}^{-1}$ de Zn na folha.

Estudos com outras espécies também mostram essa correlação de adubação com sulfato de Zn e aumento na concentração de Zn nas folhas. Em experimento realizado com mamona os teores do elemento nas folhas também aumentaram de forma linear, os teores de zinco presentes na folha variaram de $57,32 \text{ mg kg}^{-1}$ (testemunha) a $898,25 \text{ mg kg}^{-1}$ (dose de 200 mg kg^{-1}) (CHAVES., et al 2010).

Para uma planta ser considerada hiperacumuladora de Zn é necessário ser capaz de translocar para parte aérea um ou mais elementos inorgânicos em níveis até cem vezes maiores que outras espécies, crescendo sob as mesmas condições. Os metais mais característicos desse acúmulo são: o arsênio, cobalto, cobre, manganês, níquel, chumbo, selênio e zinco (LAMEGO; VIDAL, 2007). Dessa forma para a planta de erva-mate ser considerada como hiperacumuladora são necessários outros experimentos que utilizem maiores doses de Zn para verificar a capacidade de acumulação do metal sem prejuízo ao desenvolvimento da planta.

Assim como são necessárias pesquisas futuras para se obter o valor do limite crítico (LC) de Zn para erva-mate, ou seja, o teor de zinco na parte aérea que resulta em redução de 10% de massa seca da planta. Fageria (2000) estudando o limite crítico de algumas culturas como arroz, feijão, milho e trigo encontrou os valores de 673, 133, 427, 187 e 100 mg kg^{-1} de zinco respectivamente. O teor de Zn encontrado nas folhas e ramos de erva-mate tiveram valores superior a esses e não houve diminuição de matéria seca.

Figura 6: Teor de Zn nas folhas de erva mate em função das doses de Zn aplicados no solo.



4.2. CRESCIMENTO E FOTOSSÍNTESE

Os valores apresentados nas tabelas 3 e 4 são o resultado da divisão da média das variáveis obtida nas doses 100, 200, 300 e 400 mg kg⁻¹ pela média obtida para mesma variável na dose ZERO de Zn aplicada ao solo, então, valores próximos de 1,0 indicam que não houve diferença entre a dose zero e as demais doses. Não houve diferença significativa entre doses de Zn para índice SPAD, taxa fotossintética, condutância estomática, transpiração (tabela 3), altura da planta, peso seco e fresco de folhas e ramos, diâmetro, comprimento e volume de raiz (tabela 4). Para maioria das plantas teores foliares acima de 300 mg kg⁻¹ de Zn tem efeito de toxicidade (Babula et al., 2008; Lin & Aarts, 2012), isso não se confirmou para a erva mate, já que ela não apresentou redução de altura, de matéria seca, e de taxa fotossintética.

Tabela 3. Valor para cada variável obtida pela divisão da média das doses 100, 200, 300 e 400 mg kg⁻¹ pela média da testemunha.

Zn solo (mg kg ⁻¹)	SPAD 1	SPAD 2	PHOTO	COND	Fot Tran
100	1,16	1,13	0,92	0,78	1,11
200	1,17	1,39	1,01	1,09	1,01
300	1,14	1,11	1,01	0,93	1,08
400	1,09	1,19	1,11	0,98	1,13

SPAD – intensidade do verde da folha Photo - taxa fotossintética; Cond – condutância estomática; Fot Tran - Transpiração

Quando a planta está sob excesso de Zn, pode ocorrer uma diminuição no seu peso seco (PS) e fresco (PF), uma das explicações é a menor produção de fotoassimilados, devido, a redução das taxas fotossintéticas. O estresse causado por excesso de Zn pode levar a alterações no aparato fotossintético, devido a competição e substituição do magnésio (ativador da enzima) por esse elemento comprometendo dessa forma a atividade da enzima rubisco (Van; Clijsters, 1986). Por esse motivo a importância de se medir o índice SPAD e quantificar a taxa fotossintética da planta.

Os parâmetros transpiração e condutância estomática não apresentaram diferença estatística para as doses analisadas (Tabela 3). A ausência de efeito sugere possível compartimentalização do zinco nas células da folha, evitando assim, danos aos processos fisiológicos. Estudos mostram que a sensibilidade ao Zn varia conforme a dose aplicada e a espécie vegetal. Existem plantas com alta tolerância a esse elemento, podendo atingir teor de 20 g kg⁻¹ de Zn (KUPPER et al., 1999 apud Prado, 2008). Porém existem plantas que apresentam sintomas de toxidez com baixa quantidade do elemento como a cultura do cafezeiro que se mostra sensível, já a planta de erva mate tem se mostrado tolerante ao elemento mesmo em doses altas. Cambrollé et al. (2013) observaram que doses de Zn acima de 90 mmol L⁻¹ (5886 mg kg⁻¹) foram responsáveis pelo declínio na atividade fotossintética, em *Limoniastrum monopetalum* (L.).

De maneira geral, quando ocorre o estresse oxidativo há produção de espécies reativas ao oxigênio, como superóxido (O₂⁻), radicais hidroxila (OH⁻) e peróxido de hidrogênio (H₂O₂) que, ao interagirem com componentes celulares, promovem danos oxidativos em ácidos nucleicos, proteínas, açúcares e lipídios, o que, em condições extremas acarretam em morte celular (GADJEV et al., 2008).

Tabela 4. Valor médio para cada variável obtida pela divisão da média das doses 100, 200,

300 e 400 mg kg⁻¹ pela média da testemunha.

Zn solo mg kg ⁻¹	Altura	Peso Fresco		Peso Seco		Raiz		
		Ramos	Folhas	Ramos	Folhas	Diam.	Comp.	Vol.
100	0,93	0,99	0,84	1,00	0,95	1,05	0,80	0,85
200	0,98	1,09	0,92	1,03	1,11	0,95	0,91	0,8
300	1,00	1,12	0,72	1,10	0,93	1,03	0,87	0,93
400	1,04	1,06	0,79	1,09	1,27	0,99	0,81	0,81

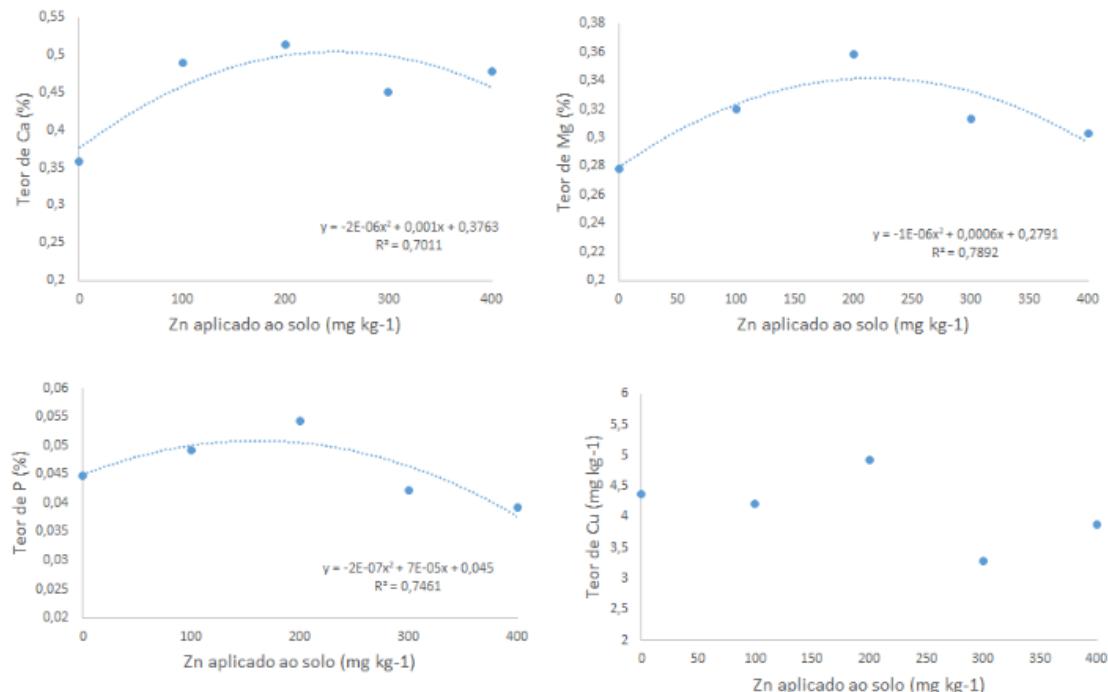
Diam – Diâmetro de raiz; Comp – Comprimento de raiz; Vol- Volume de raiz

Os teores dos elementos de Ca, Mg, P e Cu na parte aérea da erva-mate podem ser encontrados na figura 7. Para Ca, Mg e P ocorreu diminuição do teor na parte aérea a partir da

dose de 200 mg kg⁻¹ de Zn aplicada ao solo. Não foi possível ajustar uma equação aos teores de Cu na parte aérea, o que pode indicar que o aumento no Zn não interferiu diretamente na absorção e translocação do Cu.

A queda nos teores de cálcio e magnésio com o aumento das doses de Zn se deve a competição no momento da absorção entre os cátions divalentes Ca⁺², Mg⁺² e Zn⁺², gerando o chamado efeito antagônico (PENDIAS.,1992). Comportamento semelhante foi observado por Soares et al. (2001) trabalhando com eucalipto, em solução nutritiva. Já a diminuição no teor de fósforo pode estar relacionada com a precipitação do fósforo no solo na forma de fosfato de zinco, acarretando em imobilização do elemento.

Figura 7. Teores médios de Ca, Mg, P e Cu na parte aérea da erva mate em função das doses crescentes de Zn aplicados ao solo.



4.3 TEOR DE ZN NA PARTE AÉREA E SAÚDE HUMANA

Ingestão Diária Recomendada (RDA) dos EUA de zinco é de 12 mg/dia para mulheres e 15 mg/dia para homens. Grávidas e lactantes precisam de mais, até 19 mg/dia (<http://www.icz.org.br/zinco-saude.php>). Intoxicações com excesso de zinco em humanos é rara. A ingestão aguda de 1 a 2 g de sulfato de zinco (0,4 a 0,8 g de Zn) pode produzir quadro gastrintestinal com náuseas, diarreia, dor abdominal e vômitos associados à irritação e à

corrosão do trato gastrintestinal, e os pacientes ainda apresentam gosto metálico na boca (Eckhert, 2014; Brandão Neto, 2020).

No presente estudo, o teor de Zn na massa seca parte aérea da erva mate encontrada na ausência de aplicação de Zn ao solo foi de $27,22 \text{ mg kg}^{-1}$ e na maior dose aplicada de $883,3 \text{ mg kg}^{-1}$ (figura 6). Em um cenário hipotético, onde, para consumir um litro de chimarrão fossem utilizados 100 gramas de erva-mate, a ingestão diária de Zn seria de 2,72 mg (dose zero de Zn), 144,10 mg (dose 100 mg kg^{-1}) e 88,3 mg (dose de 400 mg kg^{-1}). Essa última é sete vezes superior a RDA, o que somado a outras fontes pode constituir risco a saúde humana.

5. CONCLUSÃO

A aplicação de doses crescentes de Zn ao solo resultou em aumento do teor de Zn na parte aérea de forma linear;

O aumento do teor de Zn na parte aérea não resultou em redução para massa fresca, seca de parte aérea, índice SPAD, altura, condutância estomática e transpiração indicando ausência de estresse oxidativo;

Doses de Zn acima de 200 mg kg^{-1} conduziram a redução dos teores Ca, P e Mg nas folhas.

Não foi possível calcular o limite crítico de Zn para erva-mate;

O consumo de chimarrão de plantas de erva-mate cultivadas em solos com concentrações de Zn superiores aos valores orientadores do CONAMA 420/2009 (ex. Dose 400 mg kg^{-1}) pode resultar em risco a saúde humana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, Ana Maria de Aguiar; SIQUEIRA, José Oswaldo. Contaminação química e biorremediação do solo. **Tópicos em ciência do solo**, v. 1, p. 299 citation_lastpage= 351, 2000.

ANDRADE, Fabiana Maia. Exploração, manejo e potencial socioeconômico da erva-mate. In: SIMÕES, Luciana Lopes; LINO, Clayton Ferreira. *Sustentável Mata Atlântica: a exploração de seus recursos florestais*. 2. ed. São Paulo: SENAC, 2003.

ALLOWAY,

B. Zinc in soil and crop nutrition. Zinc in plant nutrition. **International Zinc Association, Bruselas**, 2004

ARÇARI, Demétrius Paiva et al. Effect of mate tea (*Ilex paraguariensis*) supplementation on oxidative stress biomarkers and LDL oxidisability in normo- and hyperlipidaemic humans. **Journal of Functional Foods**, v. 3, n. 3, p. 190-197, 2011.

ARZI, A.; AHAMEHE, M.; SARAHROODI, S. Effect of hydroalcoholic extract of *Lavandula officinalis* on nicotine-induced convulsion in mice. **Pakistan journal of biological sciences**, v. 14, n. 11, p. 634, 2011

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL. Lei nº 7.439, de 8 de dezembro de 1980. Institui a Erva-Mate "Ilex Paraquariensis" como a Árvore Símbolo do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 1-1, 8 abr. 1980.

BERTÉ, K. A. S.; BEUX, M. R.; SPADA, P. K. W. D. S.; SALVADOR, M.; HOFFMANN-RIBANI, R. Chemical 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** Easton v. 59, n. 10, p. 5523-5527, 2011. <http://dx.doi.org/10.1021/jf2008343>. PMid:21510640

BOAVENTURA, Brunna Cristina Bremer et al. Association of mate tea (*Ilex paraguariensis*) intake and dietary intervention and effects on oxidative stress biomarkers of dyslipidemic subjects. **Nutrition**, v. 28, n. 6, p. 657-664, 2012.

BOUIS, Howarth E.; WELCH, Ross M. Biofortification—a sustainable agricultural strategy for reducing micronutrient malnutrition in the global south. **Crop Science**, v. 50, p. S-20-S-32, 2010.

BRENNAN, Ross F. **Zinc application and its availability to plants**. 2005. Tese de Doutorado. Murdoch University.

CAKMAK, Ismail. Revisão Tansley No. 111: possíveis papéis do zinco na proteção das células vegetais contra danos causados por espécies reativas de oxigênio. **New Phytologist** , v. 146, n. 2, p. 185-205, 2000.

CAMBROLLÉ, J. et al. Evaluation of zinc tolerance and accumulation potential of the coastal shrub *Limoniastrum monopetalum* (L.) Boiss. **Environmental and experimental botany**, v. 85, p. 50-57, 2013.

CARMO, Davi Lopes do et al. Micronutrientes em solo e folha de cafeeiro sob sistema agroflorestal no sul de minas gerais. 2012.

CARVALHO, P.E.R. **Espécies Arbóreas Brasileiras**: Coleção Espécies Arbóreas Brasileiras, vol. 1. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas; Colombo, PR:Embrapa Florestas,2003.1.039p.

CHAVES, Lúcia Helena Garófalo et al. Acúmulo e distribuição de cobre e zinco em mamoneira cultivar BRS Paraguaçu e crescimento da planta. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 7, n. 3, p. 263-277, 2010.

COMINETTI, Cristiane; COZZOLINO, Silvia Maria Franciscato. Funções Plenamente Reconhecidas de Nutrientes Zinco. **IISI Brasil**, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 1-20, jul. 2009.

DEMMENT, Montague W.; YOUNG, Michelle M.; SENENIG, Ryan L. Providing micronutrients through food-based solutions: a key to human and national development. **The Journal of nutrition**, v. 133, n. 11, p. 3879S-3885S, 2003.

DANG, Hong-Kai et al. Absorption, accumulation and distribution of zinc in highly-yielding winter wheat. **Agricultural sciences in China**, v. 9, n. 7, p. 965-973, 2010.

CHENG, Ting-Ying et al. Effects of multinutrient supplementation on antioxidant defense systems in healthy human beings. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 12, n. 7, p. 388-395, 2001.

DE RESENDE, Pedro Ernesto et al. The activity of mate saponins (*Ilex paraguariensis*) in intra-abdominal and epididymal fat, and glucose oxidation in male Wistar rats. **Journal of ethnopharmacology**, v. 144, n. 3, p. 735-740, 2012.

DEMMENT, Montague W.; YOUNG, Michelle M.; SENENIG, Ryan L. Fornecimento de micronutrientes por meio de soluções baseadas em alimentos: uma chave para o desenvolvimento humano e nacional. **The Journal of Nutrition**, v. 133, n. 11, pág. 3879S-3885S, 2003.

EMBRAPA (Brasil) (ed.). Introdução à biofortificação. In: **Rede BioFORT**. [S. l.], 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/e-campo>. Acesso em: 1 set. 2020.

ECKHERT, CD. Trace elements. In: modern nutrition in health and disease,11th Ed, Ross AC, Caballero B, Cousins RJ, Tucker KL, Ziegler TR (Eds),Lippincott Williams and Wilkins, Philadelphia 2014. p.245.

FAGUNDES, Aldani et al. *Ilex Paraguariensis*: composto bioativos e propriedades nutricionais na saúde. **RBONE-Revista Brasileira de Obesidade, Nutrição e Emagrecimento**, v. 9, n. 53, p. 213-222, 2015.

FAO, WHO. Human Vitamin and Mineral Requirements. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **World Health Organization. Food and Nutrition Division FAO Rome**, v. 15, p. 235-250, 2001.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. State of Food and Agriculture 2013: investing in agriculture for a better future. Rome, Italy, 2013.

FAGERIA, Nand Kumar. Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 3, p. 390-395, 2000.

GADJEV, Ilya; STONE, Julie M.; GECHEV, Tsanko S. Programmed cell death in plants: new insights into redox regulation and the role of hydrogen peroxide. **International review of cell and molecular biology**, v. 270, p. 87-144, 2008.

GERHARDT, Marcos; NODARI, Eunice Sueli. A Produção da Erva-Mate na Perspectiva da História Ambiental. **Revista Brasileira de Agroecologia**, [S.l.], v. 4, n. 2, dec. 2009. ISSN 1980-9735. Disponível em: <<http://revistas.abagroecologia.org.br/index.php/rbagroecologia/article/view/8746/0>>. Acesso em 06/05/2020.

GERHARDT, Marcos. *História Ambiental da erva-mate*. 2013. 290 f. Tese (Doutorado em História). Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013

GIBSON, Rosalind S. Zinc: o elo que faltava no combate à desnutrição por micronutrientes em países em desenvolvimento. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 65, n. 1, pág. 51-60, 2006.

HAFEEZ, B .; KHANIF, YM; SALEEM, M. Papel do zinco na nutrição de plantas - uma revisão. **Jornal de Agricultura Experimental Internacional**, p. 374-391, 2013.

HOTZ, Christine et al. International Zinc Nutrition Consultative Group (IZiNCG) technical document 1: assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. 2004.

IBRAMATE- **Instituto Brasileiro da erva-mate**. Diagnóstico da cadeia produtiva da erva-mate no estado do Rio Grande do Sul, 2018.

INSTITUTO DE MEDICINA (Estados Unidos). **Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc : a report of the Panel on Micronutrients ... [et al.], Standing Committee on the Scientific Evaluation of Dietary Reference Intakes, Food and Nutrition Board, Institute of Medicine**. Washington: National Academy Press, 2002. 800 p. Disponível em: <https://www.copyright.com/openurl.action?rwr=27&issn=10.17226%2F10026&publicationDate=2001&WT.mc.id=NAP>. Acesso em: 11 maio 2020.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants CRC Press. **Boca Raton, FL**, 1992.

KIRKBY, Ernest Arnold; RÖMHELD, Volker. Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção e mobilidade. **Informações agronômicas**, v. 118, n. 2, p. 1-24, 2007.

LAMEGO, Fabiane Pinto; VIDAL, Ribas Antonio. Fitorremediação: plantas como agentes de despoluição?. **Pesticidas: Revista de ecotoxicologia e meio ambiente**, v. 17, 2007.

LIN, Ya-Fen; AARTS, Mark GM. The molecular mechanism of zinc and cadmium stress response in plants. **Cellular and molecular life sciences**, v. 69, n. 19, p. 3187-3206, 2012.

MACCARI JUNIOR, Agenor et al. Análise do pré-processamento da erva-mate para chimarrão. 2005.

MAFRA, Denise; COZZOLINO, Sílvia Maria Franciscato. Importância do zinco na nutrição humana. **Revista de Nutrição**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 79-87, mar. 2004. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-52732004000100009>. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-52732004000100009. Acesso em: 14 maio 2020.

MARTIN, José G. Prado et al. Antimicrobial activity of yerba mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) against food pathogens. **Revista Argentina de microbiología**, v. 45, n. 2, p. 93-98, 2013.

MARSCHNER, Horst. Mineral nutrition of higher plants. Institute of Plant Nutrition, University of Hohenheim. 1995.

MORAES, Milton Ferreira et al. Práticas agronômicas para aumentar o fornecimento de nutrientes e vitaminas nos produtos agrícolas alimentares. **I Simpósio Brasileiro de Apropecuária Sustentável, Viçosa. Anais, UFV**, p. 299-312, 2009.

OLIVEIRA, Regina de Carvalho. Avaliação do movimento de cádmio, chumbo e zinco em solo tratado com resíduo-calcário. 2019.

PRASAD, Ananda S. Zinc: mechanisms of host defense. **The Journal of nutrition**, v. 137, n. 5, p. 1345-1349, 2007.

PRASAD, Ananda S. Impact of the discovery of human zinc deficiency on health. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 28, n. 3, p. 257-265, 2009.

PEDRAZA, Dixis Figueroa; SALES, Márcia Cristina. Deficiência de zinco: diagnóstico, estimativas do Brasil e prevenção. **Nutrire**, v. 40, n. 3, p. 397-408, 2015.

PEREIRA, D. F. et al. Influence of the traditional Brazilian drink *Ilex paraguariensis* tea on glucose homeostasis. **Phytomedicine**, v. 19, n. 10, p. 868-877, 2012.

POLETO, IGOR. ZONEAMENTO E IDENTIFICAÇÃO DE *Fusarium* spp. CAUSADORES DE PODRIDÃO DE RAÍZES EM PLANTIOS DE ERVA-MATE (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) NA REGIÃO DO VALE DO TAQUARÍ, RS. **Ciência Florestal**, Santa Maria/RS, v. 16, p. 1-16, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cflo/v16n1/1980-5098-cflo-16-01-00001.pdf>. Acesso em: 4 maio 2020.

REIS, Elizete M. et al. Effect of *Hypericum perforatum* on different models of movement disorders in rats. **Behavioural pharmacology**, v. 24, n. 7, p. 623-627, 2013.

SIMÕES, Cláudia Maria Oliveira. **Farmacognosia: da planta ao medicamento**. UFRGS; Florianópolis: UFSC, 2001.

SOARES, Cláudio Roberto Fonsêca Sousa et al. Toxidez de zinco no crescimento e nutrição de *Eucalyptus maculata* e *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 2, p. 339-348, 2001.

SZCZUREK, Elzbieta I.; BJORNSSON, Chris S.; TAYLOR, Carla G. Dietary zinc deficiency and repletion modulate metallothionein immunolocalization and concentration in small intestine and liver of rats. **The Journal of nutrition**, v. 131, n. 8, p. 2132-2138, 2001.

TISDALE, S. L.; NELSON, W. L.; BEATEN, J. D. Zinc in soil fertility and fertilizers. **Fourthedition, Macmillan Publishing Company, New York**, p. 382-391, 1984

UNICAMP (São Paulo). **Núcleo de Estudos e Pesquisas em Alimentação – NEPA Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP Tabela Brasileira de Composição de Alimentos – TACO**. 4. ed. Campinas: Bookeditora, 2011. 161 p. Disponível em: https://www.cfn.org.br/wp-content/uploads/2017/03/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf. Acesso em: 11 maio 2020.

VALDUGA, E.; De FREITAS, R. J. S.; REISSMANN, C. B.; NAKASHIMA, T. Caracterização química da folha de *Ilex paraguariensis* St. Hil. e de algumas espécies utilizadas na adulteração do mate. **B.CEPPA**, v.15, n.1, p.25-36, 1997

VAN ASSCHE, F.; CLIJSTERS, H. Inibição da fotossíntese em *Phaseolus vulgaris* por tratamento com concentração tóxica de zinco: efeito na ribulose-1, 5-bisfosfato carboxilase / oxigenase. **Journal of plant physiology** , v. 125, n. 3-4, pág. 355-360, 1986.