

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
MESTRADO EM CIÊNCIA DO SOLO

ALADJE TÉ

**ADUBAÇÃO COM ZINCO NO CULTIVO DE AMENDOIM (*Arachis hypogaea*
L.)**

LAGES

2022

ALADJE TÉ

**ADUBAÇÃO COM ZINCO NO CULTIVO DE AMENDOIM (*Arachis hypogaea*
L.)**

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. Dra. Mari Lucia Campos

LAGES, SC

2022

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

Té, Aladje
ADUBAÇÃO COM ZINCO NO CULTIVO DE AMENDOIM
(*Arachis hypogaea* L.) / Aladje Té. -- 2023.
36 p.

Orientadora: Mari Lucia Campos
Coorientador: David José Miquelluti
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de Santa
Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-
Graduação em Ciência do Solo, Lages, 2023.

1. Fertilizantes. 2. Minerais. 3. *Arachis hypogaea* L. 4. Biofortificação. I.
Campos, Mari Lucia . II. Miquelluti, David José .
III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.
IV. Título.

ALADJE TÉ

ADUBAÇÃO COM ZINCO NO CULTIVO DE AMENDOIM (*Arachis hypogaea* L.)

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.

Banca Examinadora

Orientadora: _____

Prof. Dra. Mari Lucia Campos

UDESC/-CAV

Membro externo: _____

Prof. Dra. Daniela Queiroz Zuliani

UNILAB/CE

Membro interno: _____

Prof. Dr. Romeu de Souza Werner

UDESC/-CAV

LAGES, novembro de 2022

AGARDECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela vida, pela força e coragem em todos os momentos dessa caminhada que contribuíram para a minha formação pessoal e profissional.

Agradeço imensamente aos meus pais Augusta Ié e Clisse Té pelo amor, carinho, incentivo e apoio incondicional durante toda minha vida, pai infelizmente não estás mais no mundo dos vivos, mas sempre guardo os seus ensinamentos, a minha amável mãe sempre fazendo o possível e impossível para que nunca me faltasse nada e sempre estar presente mesmo longe.

A minha orientadora, Prof. Dra. Mari Lucia Campos, por ser mais que uma professora e orientadora, mas uma mãe para mim, pelo apoio nos momentos difíceis, pela paciência e disponibilidade do seu tempo em me acompanhar e orientar cuidadosamente durante todo este tempo do mestrado. Pelos ensinamentos que levarei para toda vida.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. David José Miquelluti, pelo apoio, pela paciência e disponibilidade do seu tempo em me ajudar durante este período de mestrado.

Ao meu irmão Adjombi Té pela irmandade e apoio e ao meu primo Morido da Silva pelo apoio, para que eu pudesse realizar o sonho de cursar o mestrado.

A minha irmã Elizabete Té, minha namorada Vanusa Francisco Gomes Ié e a minha irmã Maguida Jaime Monteiro por sempre acreditarem em mim e apoiar em todos os momentos da minha vida. Obrigado pelo amor, companheirismo, dedicação e incentivo sempre. Ao meu primo Virissimo Quintino Djú e Tancio Djú e que me apoiaram e deram grande contributo para que o meu sonho de cursar mestrado tornasse realidade.

A UDESC-CAV, seu corpo docente, direção e administração que me deram oportunidade para esta conquista e os funcionários terceirizados.

A todos os professores e professoras de CAV-PPCS que me fizeram tornar um homem formado (mestre).

Aos meus amigos e todos os integrantes do laboratório de levantamento de análise ambiental por me acolherem e me darem suporte ajudando na montagem e coleta do experimento.

E a todos que não foram citados aqui diretamente, mas que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

TÉ, Aladje. ADUBAÇÃO COM ZINCO NO CULTIVO DE AMENDOIM (*Arachis hypogaea* L.) 2022. p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Lages, 2022.

A adubação de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) com zinco é uma das práticas agrícolas que serve para elevar o teor de Zn na própria planta e conseqüentemente no produto final (grãos) para alimentação humana. O objetivo deste trabalho foi utilizar a biofortificação agrônômica como ferramenta para aumentar os teores de Zn em amendoim. Para isso, 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), na safra 2021/2022. O Experimento foi conduzido em delineamento experimental inteiramente casualizado, sendo seis doses de ZnSO₄ (0; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10; mg kg⁻¹), um cultivar, com três repetições, totalizando 21 unidades experimentais. Foi utilizada 4 sementes inoculadas por vaso, e cada vaso contem 10 dm³, ou seja, tem a capacidade de 10 kg de solo (base seca). O solo foi corrigido para pH 6,0 e recebeu a adubação mineral (PK) seguindo a recomendação para cultura do amendoim estabelecida no Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (SBCS, 2016). Foram realizadas análises in vivo (SPAD, comprimento de folhas) e após a colheita (peso fresco das vagens, produtividade, teor de macro e micronutrientes nos grãos de amendoim). Os teores de macro e micronutrientes para folhas e grão estão dentro das faixas reportadas na literatura. A aplicação de Zn em doses crescentes via solo não resultou em aumento dos teores de Zn na cultura do amendoim, tanto na parte aérea quanto nos grãos, o que indica que a adubação via solo não é a melhor técnica de biofortificação agrônômica de Zn para a cultura do amendoim.

Palavras chave: Fertilizantes, minerais, *Arachis hypogaea* L., Biofortificação

ABSTRACT

TÉ, Aladge. ZINC FERTILIZATION IN PEANUT (*Arachis hypogaea* L.) 2022. p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Lages, 2022.

The fertilization of peanuts (*Arachis hypogaea* L.) with zinc is one of the agricultural practices that serves to increase the Zn content in the plant itself and consequently in the final product (grains) for human consumption. The aim of this work was to use agronomic biofortification as a tool to increase Zn levels in peanuts. For this, the experiment was conducted in a greenhouse at the Department of Soils and Natural Resources, located at the Center for Agroveterinary Sciences of the University of the State of Santa Catarina (UDESC-CAV), in the 2021/2022 harvest. The experiment was carried out in a completely randomized design, with six doses of ZnSO₄ (0; 0.5; 1.0; 2.0; 5.0; 10; mg kg⁻¹), with three replications, totaling 21 experimental units. . Four inoculated seeds were used per pot, and each pot contains 10 dm³, that is, it has a capacity of 10 kg of soil (dry basis). The soil was corrected to pH 6.0 and received mineral fertilization (PK) following the recommendation for peanut culture established in the Liming and Fertilization Manual for the States of Rio Grande do Sul and Santa Catarina (SBCS, 2016). Analyzes were performed in vivo (SPAD, leaf length) and after harvest (fresh pod weight, yield, macro and micronutrient content in peanut kernels). The levels of macro and micronutrients for leaves and grains are within the ranges reported in the literature. The application of Zn in increasing doses via soil did not result in an increase in the levels of Zn in the peanut crop, both in the shoots and in the grains, which indicates that fertilization via soil is not the best technique for agronomic Zn biofortification for the crop. peanut culture.

Key Word: Mineral fertilizers, *Arachis hypogaea* L., Biofortification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Produção de Amendoim em diferentes Regiões do mundo-----	19
Figura 2. Plantas na fase de florescência (A) e da maturação dos grãos (B) -----	28
Figura 3. Teores de Zn na folha na fase da floração do amendoim-----	30
Figura 4. Acumulo de Zn nos grãos do amendoim-----	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise química do solo Cambisol Háplico coletado no município de Lages, SC utilizado no experimento-----	25
Tabela 2 - Teor de macro e micronutrientes na folha de amendoim no momento da floração comparada com teores encontrados na literatura-----	29
Tabela 3 - Análise de contraste de Dunnett entre os tratamentos para as variáveis comprimento de folha ao 10º dia (C10) e ao 90º dia (C90), índice SPAD e teores de macro e micronutrientes na folha-----	30
Tabela 4 - Análise de contraste de Dunnett entre os tratamentos para as variáveis número de vagem, número de grão, peso úmido e seco de grão e teores de macro e micronutrientes no grão do amendoim cultivado em doses crescente de Zn-----	31
Tabela 5 - Teor de macro e micronutrientes no grão de amendoim comparada com os teores da literatura-----	32

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

Ca - Cálcio

Ca- Cálcio

CAV- Centro de Ciências Agroveterinárias

CC- Capacidade de Campo

CTC- Capacidade de troca de cátions

Cu- Cobre

EMBRAPA- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FAO- Food Agriculture Organization

K - Potássio

LDI- Limite de Detecção Instrumental

Mg - Magnésio

mg kg⁻¹ Miligramas por quilos

NaOH- Hidróxido de Sódio

NGÃO- Número de Grão

NVAG- Número de vagens

P - Fósforo

PESEC- Peso Seco

PESUM- Peso Úmido

pH- Potencial Hidrogênio

SBCS- Sociedade Brasileira de Ciências do solo

SPAD- Soil Plant Analysis Minivolta

TFSA- Terra Fina seca ao Ar

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO-----	16
1.1 OBJETIVOS-----	17
1.2 Objetivos Gerais-----	17
1.2.1 Objetivo Específico-----	17
1.2.2 HIPÓTESE -----	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA-----	18
2.1 Origem, expansão e consumo do amendoim-----	18
2.2 Biofortificação Agronômica-----	21
2.3 Deficiências e Adubação de Zn em Amendoim-----	22
2.4 Zinco no Solo-----	23
2.5 Zinco na Planta-----	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS-----	25
3.1 Caracterização de local de experimento-----	25
3.2 Caracterização do solo-----	25
3.3 Instalação e condução do experimento-----	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES-----	29
4.1 Teores de zinco na parte aérea-----	29
4.2 Teores de zinco nos grãos-----	31
5. CONCLUSÃO-----	35
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	36

INTRODUÇÃO

O desafio da produção agrícola desde os primórdios da humanidade sempre foi grande, e ao longo desse período o homem procurou criar várias formas de produzir para manter a sua sobrevivência, porém, atualmente é perceptível que, cada vez mais a humanidade precisa aprimorar as técnicas de produção a fim de maximizar a produtividade cumprindo com o propósito de fazer a produção baseando na sustentabilidade. Com essa visão, especificamente para cultura do amendoim (*Arachis hypogaea* L) é fundamental aplicarmos tais técnicas (adubação com zinco) na sua produção para atender a necessidade da própria cultura pelo zinco e conseqüentemente no seu produto final para consumo humano.

O zinco está recebendo cada vez mais atenção em todo o mundo, pois sua deficiência nas populações é generalizada, causando sérios problemas à saúde humana, como; ineficiência do sistema imunológico, grande dificuldade no aprendizado, riscos de infecções, e fácil evolução de câncer, particularmente nos países em desenvolvimento. No entanto, a adubação do amendoim com micronutrientes, especificamente Zn, pode contribuir significativamente para a redução desses problemas observados nos países subdesenvolvidos (KACHINSKI *et al.* 2020; JANILA *et al.* 2014).

O zinco age como ativador de várias enzimas nas plantas e tem uma relação diretamente ligada à biossíntese de substâncias de crescimento, como a auxina, que produz mais células vegetais e mais matéria seca que, por sua vez, será armazenada nas sementes (EL-KADER e MONA, 2013). Nas produções de oleaginosas deve-se levar em conta a disponibilidade de Zn, porque a deficiência de zinco pode afetar negativamente o crescimento e o rendimento de sementes das oleaginosas, com isso, o amendoim em particular como uma oleaginosa. O Zn é um dos oito micronutrientes necessários para o seu crescimento e produção normal, no entanto, quando ocorre a sua deficiência, isso gera um prejuízo na sua produção. O zinco é muito importante para essa cultura, sendo que, ele auxilia na absorção de outros micronutrientes pelas plantas, (ARUNACHALAM, *et al.*, 2013).

A deficiência de zinco em plantas agrícolas causa um distúrbio nutricional generalizado em uma variedade de solos, no entanto em solos com baixo teor de zinco (0,5 mg kg⁻¹, assume-se que a aplicação de micronutrientes como Zn pode aumentar a

produtividade do amendoim devido ao seu papel multifacetado no metabolismo das plantas (RADHIKA e MEENA, 2021).

Uma das principais razões para a baixa produtividade do amendoim é a indisponibilidade de nutrientes no solo, e isso de certa forma, tem uma relação com a falta de informações sobre as necessidades nutricionais da cultura na literatura que poderiam auxiliar ainda mais, no caso do amendoim, com essa escassez de tais informações vai resultando num manejo não adequado da adubação da própria cultura (BERTINO *et al* 2022). É urgente as atualizações de dados na literatura de sistemas da recomendação de fertilizantes para cultura do amendoim, porque essas informações são necessárias para sua produção e tendo em vista o aumento da população e do consumo mundial de amendoim e seus derivados (CRUSCIOL *et al*, 2021).

A deficiência de zinco nos alimentos tem afetado a saúde humana, principalmente nos países subdesenvolvidos. A biofortificação agrônômica de culturas por meio do enriquecimento de micronutrientes nas sementes é a uma das opções para fornecer uma solução sustentável para a deficiência de zinco nos alimentos (SINGH e CHAUDHARI, 2015). Os alimentos biofortificados são desenvolvidos para combater um problema mundialmente conhecido, denominado fome oculta (a deficiência não clara de um nutriente), que geralmente afeta em torno de 2 bilhões de pessoas no mundo (LOUREIRO *et al*, 2018).

OBJETIVO GERAL

Utilizar biofortificação agrônômica como ferramenta para aumentar os teores de Zn em amendoim.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o efeito da aplicação de doses crescentes de Zn no solo com relação ao incremento de Zn nas folhas na fase de floração e nos grãos de amendoim;
- Avaliar o crescimento vegetativo e a produtividade do amendoim, quando submetido a doses crescentes de Zn aplicadas no solo

HIPÓTESE

O aumento da dose de Zn aplicado ao solo resulta em aumento do teor de Zn nas folhas e grãos do amendoim, indicando potencial para biofortificação agrônômica.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1. Origem, Expansão e consumo do amendoim

A espécie cultivada *Arachis hypogaea* L. conhecida popularmente como amendoim tem sua origem na América do Sul. O seu cultivo foi justamente no final do século 15 pelos povos indígenas bem antes da chegada dos europeus. O gênero *Arachis* compreende cerca de 80 espécies descritas, distribuídas em uma grande variedade de ambientes, desde as regiões costeiras do Brasil e Uruguai até altitudes de 1.450 m na região dos Andes ao noroeste da Argentina (ROCHA E VALLS, 2011). É conhecido por muitos nomes locais, como noz da terra, ervilha goober, pindas e noz de macaco, ou seja, essa variação nos nomes locais ocorre de acordo com a região, no entanto, o seu nome botânico, *Arachis hypogaea* L. é derivado das palavras gregas 'arachos' que significa uma erva daninha e hypogaea significando abaixo do solo (câmara subterrânea), referindo-se a uma erva daninha que produz frutos e vagens no solo, (VARIATH e JANILA, 2017).

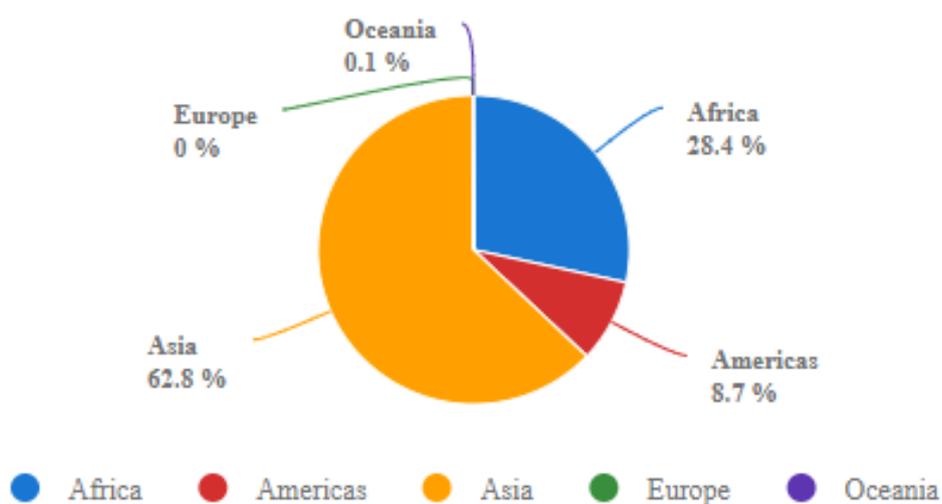
O amendoim pertence à família Leguminosae, tribo Aeschynomeneae, e é uma planta poliploide, ou seja, foi formada a partir da combinação de dois conjuntos completos de cromossomos (genomas) de duas espécies diferentes, sendo classificado como aloploiploide, e sendo uma planta herbácea anual, crescendo 30-50 cm de altura e com folhas. Mesmo que as vagens/grãos de amendoim sejam o produto mais importante da planta de amendoim, é importante também destacar que todas as partes da planta são úteis e podem ser utilizadas de várias maneiras. Botanicamente ele é dividido em duas subespécies e seis variedades: subespécies: hypogaea, fastigiata; variedades: hirsuta, hypogaea fastigiata, peruviana aequatoriana e vulgaris (EMBRAPA, 2014; VARIATH e JANILA, 2017)

Nos últimos 500 anos o cultivo de amendoim foi levado para diferentes regiões do mundo, quase 90 países, e atualmente o seu maior produtor em casca no mundo é a China. No ano 2011 a China já produzia quase a metade do total mundial 15.709.036 toneladas colhidas em 4.547.917 hectares. Importante destacar que, no século 18 a cultura de amendoim foi introduzida na Europa e no século seguinte, difundiu-se do Brasil para a África, do Peru para as Filipinas, China, Japão e Índia, (EMBRAPA, 2014). A cultura de amendoim é mais produzida nos últimos anos, por exemplo: áreas plantadas em hectares a China detém (22%), Índia (19%), Nigéria (11%), e os EUA (2%) e com relação à

produção, China (42%) e Índia (18%) seguido pela Nigéria (7,7%), EUA (4,3%) e Indonésia (1,8%) (RATHNAUMAR *et al.* 2013). Ela é uma cultura que tem a facilidade de se adaptar em diferentes ambientes agroecológicos, sendo que, o seu cultivo é mais predominante nos países em desenvolvimento (Em Ásia e África) do que em países desenvolvidos, (VARIATH e JANILA, 2017).

De 2000 até 2020 verifica-se uma grande diferença na produção de grão de amendoim por cada região, no qual o continente Asiático é considerado o maior produtor com 62,8 %, seguindo África com 28,4%, Américas 8,7% Europa 0 % e Oceania 0,1%. E quanto a produção do seu óleo, a Ásia continua liderando com 70,3 % a África 23,9 %, Américas 4,3%, Europa 1,5 % e Oceania 0% respectivamente (FAO, 2022) (Figura 1).

Figura.1. Produção de Amendoim em diferentes Regiões do mundo.



Fonte: FAO, 2022

Atualmente no mercado internacional o interesse por amendoim e seus produtos vem crescendo, especialmente para uso em confeitaria, em 2010-2013 estima-se que 42 MMT (milhões de toneladas métricas) de amendoim foram utilizados anualmente no mundo, o que representou um aumento de aproximadamente 134% em relação aos 18 MMT na década de 1970. Essa demanda tende a aumentar ainda mais, devido ao avanço científico e tecnológico na transformação e utilização subproduto do amendoim (FLETCHER e SHI 2014).

Os grãos de amendoim contêm mais proteína do que a carne e ovo, e muito mais do que qualquer outro alimento vegetal, exceto soja, porém, na sua constituição existem os fitatos com comportamentos antinutricionais que podem interferem direta e indiretamente na biodisponibilidade e digestibilidade de proteínas (CHANDRASHEKAR *et al*, 2018; LOZANO, 2016). As características do grão de amendoim, é o que provavelmente o levou a ter tanto destaque central na alimentação mundial, porque a qualidade do seu óleo é muita boa, e com isso, pode auxiliar na prevenção de doenças cardíacas, além disso, os grãos apresentam grandes concentrações de vitamina E, e também contém um antioxidante que previne câncer, diabetes e doenças autoimunes, E ainda mais, no amendoim há presença de proteína que de certa forma pode substituir a carne em países onde há escassez desse alimento, (EMBRAPA, 2014).

O magnésio, cálcio, fosforo, potássio, ferro, cobre e selênio são outros minerais presentes no amendoim, com diversas funções para a saúde humana, o Mg mantém os ossos fortes e ajuda a regular os níveis de açúcar no sangue, o Ca ajuda funcionamento normal do ciclo visual e no mecanismo de coagulação do sangue, o P auxilia na formação de ossos e dentes e também ajuda a sintetizar proteínas para o crescimento, o K desempenha um papel importante nas funções cerebrais e nervosas e no desenvolvimento muscular (LARSSON *et al* 2007).

O Fe atua como agente quelante e forma quelato com o heme para formar a hemoglobina, o Cu tem papel na produção de proteínas chaves em nosso corpo, como colágeno e hemoglobina e Si retarda ou previna o aparecimento do câncer. O amendoim também é considerado como uma boa fonte destes tais minerais com seguintes quantidades, magnésio 17 mg, cálcio 54 mg, fosforo 358 mg, potássio 658 mg, ferro 2,26 mg, cobre 0,671 mg e selênio 0,0075 mg respectivamente. (SETTALURI *et al*, 2012). Além do mais, a cultura do amendoim beneficia os agricultores por meio da produção de grãos e agrega valor por meio de hastes (plantas com folhas) como fonte de forragem para o gado, especialmente na Ásia e na África (DESHMUKH *et, al.*, 2020).

O amendoim (*Arachis hypogaea*, L.) é rico em óleo, proteínas e vitaminas, sendo uma importante fonte de energia e aminoácidos para alimentação humana. Por isso que é visível o costume de adicionar o seu fruto a outros alimentos na cultura brasileira, e isso vem sendo passado de todas as gerações desde antes da chegada dos colonizadores. Sua

presença na culinária sul americana deve-se ao fato da sua provável localização do centro da sua origem, que fica nos vales dos rios de Paraná e Paraguai, e as primeiras descrições do uso do amendoim demonstram que os nativos brasileiros do século XVI já o consumiam regularmente (EMBRAPA, 2014).

Mesmo sendo uma cultura que se originou na América Sul, com alguns cultivares de alto potencial, ainda a sua produção tem grandes desafios para chegar no nível de outros países em outros continentes. O Brasil é o segundo maior produtor de amendoim (*Arachis hypogaea* L.) na América (BERTINO *et al*, 2022). Dados importantes da CONAB (2021), mostram que, o Brasil produziu 596,9 mil toneladas na safra 2020/21, e para safra de 2021/22 a previsão é de 623 mil toneladas, o qual corresponde a um aumento de 4,3% em relação à safra do ano anterior, e tendo estado de São Paulo como responsável por 95% da produção brasileira nos últimos dois anos.

3. BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA

É óbvio que, o nosso corpo precisa de nutrientes para se manter saudável, pois, se houver falta de qualquer nutriente, pode causar problemas sérios ao próprio corpo, por isso que, a deficiência humana de Zn deve ser considerada um problema de saúde pública mundial, pois dos 20 minerais necessários para o crescimento e manutenção normal do corpo, sete, incluindo Fe e Zn, estão presentes no amendoim, portanto os alimentos vegetais continuam a ser a principal fonte de minerais e vitaminas para os pobres nos países em desenvolvimento, uma vez que os produtos de origem animal, ricos em micronutrientes, estão fora do seu alcance, (JANILA *et al*, 2014).

O desenvolvimento de qualquer que seja a tecnologia principalmente na produção agrícola como a biofortificação agronômica deve merecer uma atenção desde que, permite trazer solução de problemas causados por deficiências deste micronutriente (Zn). Segundo Nutti, 2010, a Biofortificação é uma intervenção nutricional específica com o objetivo de aumentar o conteúdo de micronutrientes em alimentos através da utilização de práticas agronômicas e de melhoramento de plantas. Cambarai (2015), por sua vez, vai acrescentar que, a biofortificação de produtos agrícolas, com enfoque no manejo da adubação com Zn, pode ser prática viável para reduzir a fome oculta ou deficiência de Zn em seres humanos. A biofortificação agronômica de alimentos pode ser alcançada com a fertilização do solo e/ou foliar. (SILVA, 2017).

Segundo Graciano (2019) a biofortificação consiste no enriquecimento nutricional dos alimentos durante a produção no campo, podendo ser realizada de duas formas: pelo melhoramento genético (convencional ou transgenia) ou pelo manejo da cultura. O melhoramento genético vegetal é denominado biofortificação genética, que se trata em selecionar ou modificar de forma intencional o material genético das plantas, aumentando, dessa forma, a concentração de minerais e vitaminas nele presente, como pró-vitamina A, betacaroteno e proteínas (VERGÜTZ *et al*, 2016), o manejo da cultura é denominado de biofortificação agrônômica e consiste em enriquecer os alimentos com minerais, especialmente Fe e Zn, através de tratos culturais diferenciados.

Portanto esses micronutrientes são os mais utilizados por se caracterizarem como aqueles que promovem 8 déficits nutricionais mais preocupantes em seres humanos em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento (MAO *et al*, 2014). Neste sentido a biofortificação agrônômica pode ser feita por meio de algumas técnicas, tais como, adubação via solo, tratamento de sementes e aplicação foliar, essas são consideradas as técnicas de menor custo, mais acessíveis e de resultado rápido, porque influencia somente na adubação (LOUREIRO *et al*, 2018).

4. DEFICIÊNCIAS E ADUBAÇÃO DE Zn EM AMENDOIM

A aplicação de adubos químicos nas culturas agrícolas exige o conhecimento e a delimitação das fases de desenvolvimento durante as quais uma cultura apresenta maiores exigências nutricionais. Essa determinação da absorção de nutrientes das plantas durante as diferentes fases de desenvolvimento, é crucial, portanto permite identificar os momentos em que os elementos são mais necessários durante o desenvolvimento da cultura e a distribuição dos elementos nas diferentes estruturas da planta, permitindo o manejo adequado da adubação (NASCIMENTO *et al.*, 2012; SILVA, 2017)

A deficiência de um micronutriente em qualquer cultura pode causar algum problema como a diminuição ou impedimento de crescimento das plantas, o caso de Zn em amendoim são poucos trabalhos desenvolvidos. De acordo com Cikili (2015) a deficiência de zinco (Zn) que ocorre em solos ácidos e alcalinos de textura argilosa ou franca em climas frios e quentes é um dos estresses de nutrientes mais difundidos. Para os solos com valores de pH acima de 6,0, a disponibilidade de Zn para as plantas de amendoim é reduzida. Arunachalam, *(et al*, 2013 A), por sua vez, num estudo que

realizaram com amendoim, onde constataram a deficiência de Zn no solo no teor de 1,1 mg kg⁻¹ e consideraram que isso está abaixo do limite crítico que era de 1,2 mg kg⁻¹, e além do mais, destacaram que a aplicação de Zn no solo em culturas anuais como amendoim é um método preferido em relação às pulverizações foliares menos eficientes.

Estudo desenvolvido com a resposta do amendoim à aplicação combinada de fósforo e fertilizantes foliares de zinco, onde aplicaram quatro combinações de fertilizantes, P (0 – 30 kg ha⁻¹ e Zn 0 – 1,5 g L⁻¹) e observaram que houveram efeitos nas características fenológicas e no crescimento do amendoim. Foi verificado que, a floração ocorreu bem antes do previsto, e efeitos de interação foram estatisticamente significativos (p <0,01) para o número de frutos por planta e produção de vagens (MERESA, *et al*, 2020). Um outro estudo realizado com a cultura amendoim, aplicando a quantidade de 50 kg ha⁻¹ de FeSO₄ e 25 kg ha⁻¹ de ZnSO₄, considerada adequada para condições específicas de solos da Índia, e essas dosagem foram baseadas na recomendação de Micronutrients All India Coordinated Research Project, no qual consideram aplicação dos micronutrientes no solo para cultura de amendoim deve estar na faixa de 10 kg ha⁻¹ de Fe e 5 kg ha⁻¹ de Zn (ARUNACHALAM, *et al*, 2013 B).

Zn no solo

A limitação que, as vezes, é observada na produtividade das culturas agrícolas, pode estar ligada à deficiência de micronutrientes por causa da baixa fertilidade natural do solo, e isto de certa forma é condicionado pelo o uso excessivo de corretivos agrícolas e à remoção destes nutrientes com as colheitas sem a sua devida reposição ao solo (BORTOLON e GIANELLO, 2009). O zinco desempenha um papel substancial em muitos processos biológicos e é um elemento traço essencial para o crescimento e reprodução adequados das plantas e a saúde dos animais e humanos (VODYANITSKII, 2008). Por outro lado, ele é um metal pesado muito tóxico em altas concentrações nos solos e tem uma natureza de adesão altamente forte e que aumenta com o tempo (NOULAS *et al*, 2018).

Podem ser observadas pequenas e centenas de quilogramas por hectares de zinco nos solos. No entanto, a sua maior quantidade normalmente é verificada nos solos argilosos em comparação aos solos arenosos, porém este teor de zinco total do solo não indica o quanto deste nutriente está disponível para as plantas, pois existem outros fatores que acabam determinando a sua disponibilidade, por exemplo pH, teores de fósforo, teor

matéria orgânica do solo, lixiviação, solos frios e encharcados, atividade biológica do solo (ALEXANDRE *et al*, 2012). Dentre os fatores que afetam a disponibilidade do Zn no solo para as plantas, o pH pode ser um dos fatores mais determinantes, porque a sua variação pode interferir na sua disponibilidade, ou seja, os valores elevados de pH da solução do solo, especialmente acima de 6,5 resultam em menor extração de Zn pelas plantas (RENGEL, 2015).

O zinco natural encontrado no solo teve a sua origem pela ação do intemperismo, tanto físico quanto químico das rochas matrizes. E no solo, ele pode ser observado em duas formas, inorgânica vindo das rochas e orgânica vindo dos compostos orgânicos, e estando disponível principalmente como Zn^{2+} , ou complexado com ligantes orgânicos (KACHINSKI, 2020). Em solos agrícolas, o Zn é distribuído de forma desigual, no entanto os valores mais baixos de Zn são encontrados em solos arenosos e os mais altos em solos calcários e orgânicos (NOULAS *et al*, 2020). Portanto, o zinco naturalmente nos solos é considerado baixo quando o seu teor for menor que $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$, médio de $0,2$ a $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ e alto maior que $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ (SBCS, 2016).

Zn na planta

O zinco nas plantas se encontra na forma de Zn^{+2} e basicamente não participa das reações de oxirredução. No entanto as funções metabólicas do zinco são baseadas em sua forte tendência a formar complexos tetraédricos com ligantes $N^{\ominus}O^{\ominus}$ e particularmente S^{\ominus} ligantes, desempenhando um papel funcional (catalítico) e estrutural nas reações enzimáticas e participando na formação de clorofila (SINGH, *et al*, 2021). Ele é considerado um dos micronutrientes essenciais para crescimento das plantas. Por isso, a sua deficiência pode interferir significativamente na produtividade de grãos, e resultar em redução de resistência das plantas a doenças, em redução drástica da síntese proteica, folhas pequenas e malformadas, causando clorose internerval e necrose no meristema apical da raiz.

Por outro lado, esse elemento quando está em altas concentrações maior que 75 mg kg^{-1} nas algumas leguminosas, pode ser considerado potencialmente tóxico, e essa toxidez de certa forma, pode atuar na redução de produção da matéria seca da parte aérea e da biomassa radicular, na morte da plântula, inibição do crescimento vegetal e clorose (ALEXANDRE *et al*, 2012; ALLOWAY 2008).

MATERIAIS E METODOS

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), na safra 2021/2022. O delineamento experimental inteiramente ao acaso, sendo seis doses de Zn (0; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10 mg kg⁻¹), com três repetições, totalizando dezoito unidades experimentais.

Caracterização do solo

O solo utilizado foi um Cambisol Háplico coletado em ambiente natural do município de Lages, SC, na profundidade de 0 a 20 cm. Após a coleta, o solo foi seco ao ar e tamisado em peneira de malha de 2 mm, obtendo-se a Terra Fina Seca ao Ar (TFSA).

Tabela.1. Análise química e teor de argila para do solo utilizado no experimento (Cambisol Háplico) coletado no município de Lages, SC.

Parâmetros	Valores
pH H ₂ O	5,2
pH SMP	5,1
Al ⁺³ (Cmolc dm ⁻³)	0,49
Ca ⁺² (Cmolc dm ⁻³)	4,36
Mg ⁺² (Cmolc dm ⁻³)	2,14
K (Cmolc dm ⁻³)	1,26
T (Cmolc dm ⁻³)	20,7
V (%)	38,7
P (mg dm ⁻³)	11,1
Cu (mg dm ⁻³)	1,1
Zn (mg dm ⁻³)	4,5
Fe (mg dm ⁻³)	57,2
Mn (mg dm ⁻³)	22,3
MO (g dm ⁻³)	25
Argila (g dm ⁻³)	30

Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

A partir da TFSA, foram realizadas as análises químicas (teor de matéria orgânica, teor de Ca, Mg, K, P e micronutrientes e alumínio trocável) no Laboratório de Análise de Química do Solo do DSRN, que utiliza as metodologias descritas por Tedesco et al. (1995). Análise química e teor de argila pode ser visualizada na Tabela 1. Após a análise

química, a acidez e os níveis de nutrientes do solo foram corrigidos de acordo com as recomendações da Comissão de Química e Fertilidade do Solo do Rio Grande do Sul e Santa Catarina para cultura do amendoim.

Instalação e condução do experimento

O solo foi passado em peneira de malha de 4 mm, visando a retirada das partículas maiores (pedras, galhos, folhas e raízes) e para que o mesmo pudesse ser destorroado, a fim de que não houvesse impedimentos ao desenvolvimento das raízes do amendoim. Foi utilizada 4 sementes inoculadas por vaso, e cada vaso continha capacidade de 10 kg de solo (base seca). O solo foi corrigido para pH 6,0 com calcário filler e recebeu adubação mineral (Tabela.1) segundo recomendação para cultura do amendoim estabelecida no Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (SBCS, 2016). O solo foi mantido em 70% da capacidade de campo. Sendo que na semeadura não foi aplicado K, pois o teor de K presente no solo foi classificado como muito alto e para P foram aplicados o equivalente a 95 kg ha^{-1} de P_2O_5 . A adubação nitrogenada amendoim não é recomendada, devido inoculação das sementes com rizóbio e à eficiência da fixação biológica de nitrogênio.

Foi aplicado ao solo as doses de Zn de 0; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 10; mg kg^{-1} na forma de sulfato de zinco ($\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). Para retirar o efeito do aumento da concentração de sulfato foi aplicado ao solo enxofre elementar em dose equivalente a maior dose aplicada via sulfato de zinco. Dez dias após a semeadura e no dia da colheita, foi avaliado comprimento de folha, no qual, foram consideradas as folhas que apresentaram comprimento mínimo de 1,0 cm, e foi mensurando o comprimento da nervura principal da folha x largura x fator de ajuste (0,5), para efeito do cálculo da área foliar unitária, no entanto, o cálculo da área foliar total foi realizado multiplicando-se a área foliar unitária pelo número de folhas escolhidas.

O teor de clorofila medido pelo Índice SPAD (*Soil-Plant Analysis Development - SPAD 502*; Konica Minolta®, Tóquio, Japão), que mede a transmissão de luz vermelha a 650 nm, quando ocorre absorção de luz pela molécula de clorofila, e de luz infravermelha, a 940 nm sem absorção.

Foram coletadas folhas, no florescimento (Figura 2), na parte apical do ramo principal, exceto ramos cotilédones. (SBCS, 2016) para análise do teor de Zn, Ca, Mg, P, Cu, Mn, Fe e K pelo método de extração (USEPA) 3050B e quantificação em espectrômetro de emissão atômica com plasma acoplado por indução (ICP-OES).

Foram realizadas quatro provas em branco para o cálculo do Limite de Detecção Instrumental (LDI), no qual é representada por seguinte equação $LDI = (M \pm dp \times 3,1)$ (APHA, 2005), onde M é a média das leituras de provas em branco, dp é o valor de desvio padrão das leituras de provas em branco e 3,1 é o valor de t-Student para um intervalo de confiança de 99 %, em razão do número de graus de liberdade de medições repetidas. Os Valores de LDI encontrados foram de 7,65 mg kg⁻¹ para Ca, 1,77 mg Kg⁻¹ para Mg, 0,41 mg kg⁻¹ para Fe, 0,02 mg kg⁻¹ para Cu, 0,02 mg kg⁻¹ para Zn, 0,03 mg kg⁻¹ para Mn e 2,00 mg kg⁻¹ para P. A validação do método analítico usado para a determinação da concentração de Zn nas plantas foi utilizada como material de referência, padrão do Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia (NIST - SRM 1573a). Os teores recuperados de Zn na amostra certificada (NIST) foram de 61% do Zn total.



Figura.2. Plantas na fase de florescência (A) e da maturação dos grãos (B).

Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

Avaliação após a colheita, para análise de produtividade do amendoim, a colheita foi feita manualmente quando 70% das vagens atingiram a maturação completa, entre 85-90 dias. As etapas de colheita envolverem a colheita das plantas inteiras e finalizando com o recolhimento das vagens. Após a colheita as plantas foram secas de modo a reduzir a umidade das vagens. As vagens produzidas pelas plantas foram computadas e pesadas; depois de abertas, foi feita a pesagem das sementes de cada tratamento em uma balança de precisão. A produção da cultura foi determinada pelos seguintes parâmetros: número de sementes/planta, peso das sementes/planta, número de vagens/planta e peso de vagens/planta.

Para a determinação de micro e macronutrientes na parte aérea (P.A), os teores dos nutrientes (P, Ca, Mg, K, Cu, Zn, Fe e Mn), na semente do amendoim, foram determinados pelo método de extração USEPA 3050B e quantificação em espectrômetro de emissão atômica com plasma acoplado por indução (ICP-OES). O acúmulo de zinco nos grãos foi calculado baseado em seguinte equação: $Zn (mg/gr\tilde{a}o) = (teor\ de\ Zn (mg/kg) * Massa\ Seca\ de\ gr\tilde{a}o) / 1000$.

Para a análise estatística dos dados, os mesmos foram tabulados e submetidos à análise de variância de acordo com o delineamento experimental, testando-se contrastes específicos. Todas as análises foram conduzidas com nível mínimo de significância de 5%, usando-se o programa R® (R CORE TEM, 2016). Multiple Comparisons of Means: Dunnett Contrasts foram testadas as comparações entre a dose 0 de Zn no solo e as demais doses. Além disso, foram determinados os intervalos de confiança dessas diferenças. Sendo que, todo intervalo cujos limites, são um negativo e o outro positivo, indica que a diferença entre a dose 0 e aquela dose não é significativa a 5%.

RESULTADOS

Teores de zinco na folha

Os teores de macro e micronutrientes nas folhas na fase de florescimento (Figura 2) encontram-se dentro dos teores observados na literatura (Tabela 2). O conteúdo de zinco na folha variou de 28 a 33,6 mg kg⁻¹.

Tabela 2. Teor de macro e micronutrientes na folha de amendoim no momento da floração comparada com teores encontrados na literatura.

Fonte	Zn	Fe	Cu	Mn	Ca	Mg	K	P
	mg kg ⁻¹				g kg ⁻¹			
Presente Estudo*	32,8±12	310±247	4,8±2,4	37,8±14	10,6±1,7	6,2±2,4	3,5±0,9	1,5±0,5
Manual SBCS	20 - 60	50 - 300	5 - 20	20 - 350	10 - 20	3 - 8	17 - 30	2 - 5
Crusciol <i>et al</i> , (2021)					22	7,4	20	2,5
Bertino <i>et al</i> , (2022)					10 - 50	15 - 35	20 - 50	2 - 5
EMBRAPA (2014)	20 a 150	50 a 300	10 a 50	50 a 350				

* Teor médio obtido para tratamentos ± Desvio padrão; Fonte:

Não houve diferença significativa para análise de contrastes entre a testemunha (0 de Zn) e as doses de Zn aplicadas ao solo, para as variáveis macro e micronutrientes nas folhas coletadas na fase de floração (Tabela 3). No entanto, a testemunha, a primeira (0,5 mg kg⁻¹) e a segunda dose (1,0 mg kg⁻¹) apresentaram os maiores teores médios de Zn nas folhas quando comparado com os demais tratamentos (Figura 3).

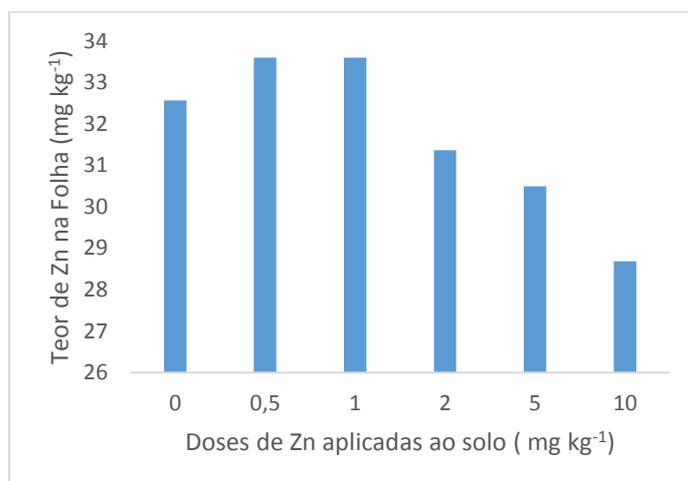
Não houve diferença significativa entre contrastes (testemunha versus tratamentos) para os comprimentos de folha 10 e 90 dias após plantio, e índice SPAD (tabela.3).

Tabela.3 - Análise de contraste de Dunnett entre os tratamentos para as variáveis comprimento de folha ao 10° dia (C10) e ao 90° dia (C90), índice SPAD e teores de macro e micronutrientes na folha para a planta de amendoim cultivado em doses crescente de Zn.

Contraste	SPAD	C10	C90	Zn	Fe	Cu	Mn	Ca	Mg	K	P
		cm		mg kg ⁻¹			g kg ⁻¹				
0,5 – 0	2,83	0,20	1,50	1,03	-244,7	1,29	-0,33	0,04	-4,59	0,42	-0,45
1 – 0	1,75	0,21	1,12	-14,22	71,7	3,05	12,86	-2,84	-1,57	2,22	-0,17
2 – 0	1,50	-0,57	1,35	-1,20	115,1	3,07	14,46	-3,22	0,11	1,04	0,34
5 – 0	3,48	0,64	1,58	-2,07	-336,1	0,85	-11,76	-2,09	-2,06	1,77	0,02
10 – 0	2,12	0,96	2,49	-3,88	-326,2	-1,18	-12,94	-2,85	-3,43	1,07	0,18

Presença de * indica que o contraste foi significativo a 0,5%; Ausência de * indica que o contraste não foi significativo

Figura.3. Teores de Zn na folha na fase da floração do amendoim.



Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

Teores de zinco nos grãos

Não houve diferença significativa para análise de contrastes entre a testemunha (0 de Zn) e as doses de Zn aplicadas ao solo, para as variáveis macro e micronutrientes nos grãos (tabela 4). Entretanto, o maior acúmulo de Zn em grão/vaso aconteceu na testemunha e na dose 0,5 mg kg⁻¹ aplicada ao solo (Figura 4).

Não ocorreu o aumento de zinco na folha e no grão com o aumento do Zn aplicado ao solo, nem mesmo na maior dose (10 mg kg⁻¹) que representava 5 vezes a dose recomendada para cultura do amendoim, o que refuta a hipótese do presente estudo. Os teores de macro e micronutrientes observados no grão, no presente estudo, encontram-se dentro das faixas apresentadas pela literatura, ou seja, considerados ideais nutricionalmente para os grãos de amendoim (Tabela 4).

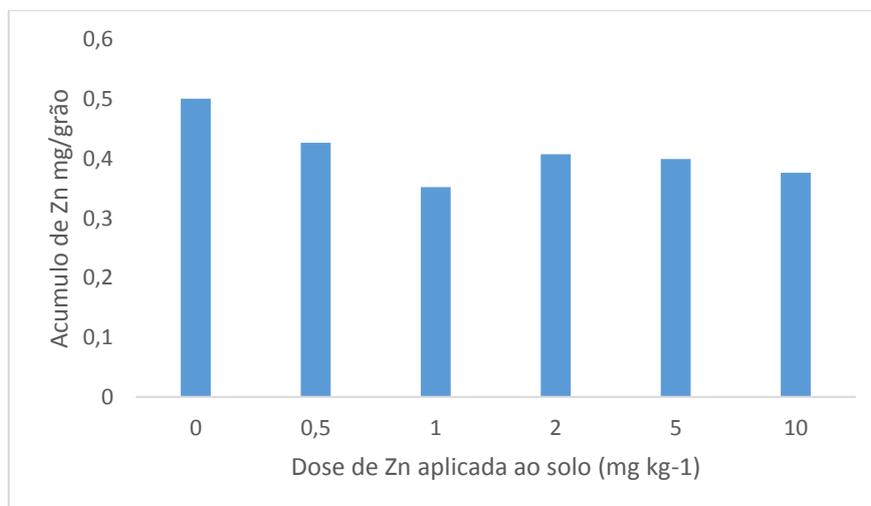
Tabela.4 - Análise de contraste de Dunnett entre os tratamentos para as variáveis número de vagem, número de grão, peso úmido e seco de grão e teores de macro e micronutrientes no grão do amendoim cultivado em doses crescente de Zn.

Contraste	NVAG	NGÃO	PESUM	PESEC	Zn	Fe	Cu	Mn	Ca	Mg	K	P
	g kg ⁻¹				mg kg ⁻¹				g kg ⁻¹			
0,5 - 0	2,67	2,33	5,57	0,21	-1,99	-41,53	-1,2	-3,26	0,13	-0,15	-0,10	-0,03
1 - 0	3	6	5,99	1,11	-2,38	-172,64	-3,08	-14,46	0,12	-0,08	-0,09	-0,29
2 - 0	0,67	1,33	0,91	1,06	-2,01	-89,74	-1,65	-9,44	-0,002	-0,08	-0,10	-0,18
5 - 0	1,34	3,33	4,02	2,02	-0,19	-94,89	-0,41	-3,06	0,10	-0,08	-0,06	-0,15
10 - 0	2,67	6,67	10,33	1,67	-0,74	-50,91	-2,8	-6,58	0,06	-0,15	-0,07	-0,49

Presença de * indica que o contraste foi significativo a 0,5%; Ausência de * indica que o contraste não foi significativo

Assim como os teores de Zn no grão, as demais variáveis também não apresentaram diferença significativa entre os contrastes testemunha versus tratamentos (tabela 4). A testemunha e a primeira dose de Zn apresentaram o maior acúmulo médio de Zn no grão (figura 4).

Figura.4. Acúmulo de Zn nos grãos do amendoim



Fonte: Elaborada pelo autor (2022).

Tabela 5- Teor de macro e micronutrientes no grão de amendoim comparada com os teores da literatura

Fonte	Zn	Fe	Cu	Mn	Ca	Mg	K	P
	mg kg ⁻¹				g kg ⁻¹			
Presente Estudo*	39,7 ± 1	288,2 ±161,7	12,7±3,7	34,5±13, 1	1,0±0,1	2,5 ±0,04	4,8±0,5	3,0±0,1
Crusciol et al, (2021)					2,3	2,	14	4
Janila et al, (2014)	47,6	60,4						
Singh et al, (2018)	36							
Arunachalam (2013)	52,2	226,4	185,2	45,5				

* * Teor médio obtido para tratamentos ± Desvio padrão

DISCUSSÃO

Teores de Zn na parte aérea

Os teores de macronutrientes estão dentro das faixas consideradas adequadas na parte aérea como foi observado em Crusciol *et al*, (2021), Bertino *et al*, (2021) e, EMBRAPA (2014) (Tabela 2). Com o aumento de zinco no solo não ocorreu seu aumento na folha, ou seja, não ocorreu aumento na translocação do zinco para parte aérea (Tabela 2). No entanto os teores de 28 a 33,6mg kg⁻¹ de Zn na folha ficou na faixa recomendada pela EMBRAPA (2014) (Tabela 2). Esse resultado pode estar relacionado ao teor disponível de Zn no solo utilizado no experimento de 4,5 mg dm⁻³ classificado pelo Manual de Adubação e de Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina como alto (SBCS, 2016)). Outra explicação para o resultado obtido pode estar ligado ao que foi afirmado por Arunachallam *et al*, (2013), do que, a aplicação de zinco no solo e via foliar as vezes atende apenas 30 a 40% da exigência de zinco pelas plantas cultivadas, ou seja, não chega nem 50% a sua absorção, por seguinte motivo, o restante de Zn pode ser absorvido em colóides de argila e tornando-se imóvel e algumas partes podem sair para o meio ambiente devido a fatores edáficos.

Estudo realizado por Irmak *et al*. (2015) avaliando do efeito de aplicação do zinco via solo nas doses, 0, 10, 20 e 40 kg ha⁻¹ de Zn na forma de ZnSO₄ e via foliar foram aplicadas 0, 0,5, 1 e 1,5 kg ha⁻¹ de doses do Zn. Esses autores observaram que houve diferença significativa nos teores de Zn nas folhas para as duas variedades de amendoim estudadas em função das doses aplicadas. Um outro resultado, diferente do encontrado no presente estudo, foi observado num estudo realizado por Inocêncio, *et al* (2012) com

a cultura da soja submetida à adubação de zinco, no qual, foi observado diferença significativa entre os tratamentos na fase de florescimento da soja, ou seja, ocorreu a translocação de zinco para parte aérea da soja.

O índice SPAD mede a transmissão de luz vermelha a 650 nm quando ocorre absorção da luz pela molécula de clorofila, e da luz infravermelha a 940 nm sem absorção. Com base nesses valores, o instrumento calcula o valor ou índice SPAD, o qual é altamente correlacionado com o teor de clorofila (SILVEIRA; BRAZ; DIDONET, 2003). O índice SPAD não foi influenciado pelas doses de zinco aplicados ao solo, o que pode indicar que só foi translocado para a parte aérea o necessário para o seu crescimento da planta do amendoim.

A produtividade não foi afetada significativamente pelas doses de zinco aplicadas ao solo (Tabela 4). Nandi *et al*, (2020) encontrou aumento significativo de vagens do amendoim aplicando zinco combinado com boro via solo e via solo. Um outro resultado diferente foi observado por Habbasha *et al* (2014), no qual encontraram a maior produtividade de grãos do amendoim (32,6 g planta⁻¹) aplicando 0,75% de pulverização foliar de ZnSO₄. E estudo realizado por Silva (2017) onde aplicou Zn na cultura de soja, não foi observado o aumento significativo nas variáveis, número de grãos, número de vagens, peso seco dos grãos e vagens, que compõem os aspectos produtivos da soja.

O teor de zinco encontrado neste presente estudo, desde a testemunha à dose máxima está na faixa considerada adequada pela literatura (Tabela 4). O valor de zinco observado por Irmak (2015) nos grãos de amendoim variou de 34 a 80 mg kg⁻¹ e o encontrado neste trabalho variou de 37,12 a 39,73 mg kg⁻¹.

Não houve diferença significativa no teor de zinco nos grãos em função das doses de Zn aplicadas ao solo. Saha (2015) com os seus colaboradores realizaram um trabalho com a aplicação de zinco via solo e foliar, associado com boro e enxofre na cultura do amendoim, observaram que houve diferença significativa entre os tratamentos, tendo aumento de 50.1 % e 85.7 % de teor de zinco nos grãos.

Outro resultado diferente observado por El –Kader e Mona (2013) num trabalho realizado com adubação combinada de zinco, boro e enxofre na cultura de amendoim, os resultados mostraram que os maiores teores de zinco e boro foram registrados no tratamento que recebeu aplicação combinada de enxofre, boro e zinco e que foi significativamente superior ao controle e aos demais tratamentos. Irmak (2015) reporta o aumento significativo no teor de Zn nos grãos de amendoim num estudo com aplicação

do zinco por via solo e foliar. Silva (2017), realizou um trabalho com a biofortificação de soja com zinco, no qual o Zn foi aplicado no solo e observou que as doses de Zn aplicadas no solo aumentaram significativamente o teor de Zn nos grãos, ou seja, as doses de 4 e 8 mg dm⁻³ enriqueceram os grãos com Zn em 47 e 75 %, respectivamente, em relação à dose 0, cujo teor de Zn no grão foi de 35,1 mg kg⁻¹.

Vários trabalhos na literatura, mostram que a adubação de amendoim e outras leguminosas, com zinco aumentam o seu teor nos grãos, no entanto no presente trabalho este comportamento não foi observado. Esse resultado pode estar relacionado ao que foi relatado por Zhang *et al*, (2011) de que a adição de Zn ao solo é relativamente ineficiente devido à baixa mobilidade do Zn no solo e devido à rápida adsorção de Zn em solos argilosos com pH neutro ou mais alto, sendo que o acúmulo de Zn no grão é amplamente dependente da translocação de Zn do solo para parte aérea. Então eles recomendaram aplicação do zinco via foliar, porque aplicação foliar de Zn representa uma prática eficiente para manter altas concentrações de Zn no tecido vegetativo durante o período da sua translocação e contribuir significativamente para a biofortificação de Zn de grãos.

O solo utilizado, no presente estudo, tem textura média, teor de matéria orgânica (MO) de 25 g kg⁻¹ e teor natural de Zn disponível no solo considerado suficiente (4 mg dm⁻³) para a cultura do amendoim. Possivelmente parte do Zn aplicado ao solo foi adsorvido na matéria orgânica e na CTC do solo, o que reduziu a disponibilidade do mesmo para a planta. Segundo Arunachallam *et al*, (2013 B), a complexação do Zn pela MO potencializa esse comportamento (não translocação do Zn para a parte aérea) no solo. E a não aplicação combinado de zinco via foliar e via solo, no presente estudo, também pode influenciar nos resultados observados, porque boa parte dos estudos feitos com zinco na cultura de amendoim encontrados na literatura, demonstra resultados significativos entre os tratamentos, utilizaram adubação via solo+ foliar.

CONCLUSÃO

Os teores de macro e micronutrientes para folhas e grão estão dentro das faixas reportadas na literatura nacional e mundial.

O Aplicação do Zn no solo não interferiu significativamente no crescimento e na produtividade das plantas do amendoim.

A aplicação de Zn em doses crescentes via solo não resultou em aumento dos teores de Zn na cultura do amendoim, tanto na parte aérea quanto nos grãos, o que indica que a adubação via solo não é a melhor técnica de biofortificação agrônômica de Zn para a cultura do amendoim.

CONSIDERAÇÕES

Como aplicação de zinco neste experimento foi por via solo, de acordo com os resultados observados sugerimos que, seja feita, a aplicação de zinco via solo e via foliar ou a combinação de zinco com outros micronutrientes, afim de influenciar na sua translocação para a parte e conseqüentemente nos grãos de amendoim.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDRE, J. R. et al., Zinco e ferro: De Micronutrientes a Contaminantes do Solo. ESFA. ISSN 1806-7409. 2012.

ALLOWAY, B. J. Zinc in Soils and Crop Nutrition. Second edition, published by IZA and IFA Brussels, Belgium and Paris, France, 2008.

ARUNACHALAM, P.; Pandian, K.; Gnanasekaran, P.; . Prabhakaran, J. Response of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) genotypes to soil fertilization of micronutrients in alfisol conditions. Electronic Journal of Plant Breeding, 4(1): 1043-1049 (Mar 2013 A) ISSN 0975-928X.

ARUNACHALAM, P.; KANNAN1, P.; PRABUKUMAR, G.; GOVINDARAJ, M. Zinc deficiency in Indian soils with special focus to enrich zinc in peanut. ISSN 1991-637X ©2013 B Academic Journals.

BERTINO, A. M. P., et al, Macronutrient Absorption Rate of a Runner-type Peanut Cultivar. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.26, n.6, p.433-440, 2022.

DESHMUKH et, al., 2020. Combining High Oleic Acid Trait and Resistance to Late Leaf Spot and Rust Diseases in Groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Frontiers in Genetics* · June 2020.

BORTOLON, L., & GIANELLO, C. Disponibilidade de cobre e zinco em solos do sul do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 33(3), 647–658. 2009.

CAMBARAIA; T. L. L. Biofortificação agrônômica do feijão pelo manejo da adubação com Zn / Thaís Lopes Leal Cambraia. - Viçosa, MG, 2015.

CHANDRASHEKAR et al., Low phytic acid peanut: a potential tool to overcome mineral malnutrition in humans. *Current Science* · March 2018. DOI: 10.18520/cs/v114/i06/1165-1166.

CIKILI, Y.; DURSUN, S. SEMET, G. The Mutual Effects of Boron and Zinc on Peanut (*Arachis hypogaea* L.) Growth and Mineral Nutrition. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* · March 2015.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira - grãos: Décimo levantamento, julho 2020 - v.7, safra 2019/2020, Brasília: CONAB, 2021.

CRUSCIOL, et al. Dynamics of macronutrient uptake and removal by modern peanut cultivars. *Plants*, v. 10, n. 10, 2021.

EL-KADER, A and MONA, G. Effect of Sulfur Application and Foliar Spraying with Zinc and Boron on Yield, Yield Components, and Seed Quality of Peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*, 9(4): 127-135, 2013 ISSN 1816-1561.

EMBRAPA, 2014. Sistema de Produção de Amendoim. Versão Eletrônica 2a edição/ Feb 2014.

FAO 2022. Food and Agriculture Organization of the United Nations. GIEWS country briefs. <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>.

FLETCHER S. M.; SHI, Z. An overview of world peanut markets. In: Stalker T, Wilson RF (eds) *Peanuts: genetics, processing and utilization*. AOCS Press, Elsevier Inc, London, UK, pp 267–287. 2014.

HABBASHA, S. F., OKASHA E.M, ABDELRAOUF R.E, MOHAMMED A.S.H. Effect of pressured irrigation systems, deficit irrigation and fertigation rates on yield, quality and water use efficiency of groundnut. *Int. J. ChemTech Res.* 2014;7(01):475-487.

INOCÊNCIO, et al. Resposta da soja à adubação com zinco em solo com teores acima do nível crítico. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.47, n.10, p.1550-1554, out. 2012.

IRMAK, S. et al., Effects of Zinc Application on Yield and Some Yield Components in Peanut (*Arachis hypogaea*) in the Eastern Mediterranean Region. *Journal of Agricultural Sciences*. Accepted: 09 March 2015.

JANILA, P., NIGAM, S.N.; ABHISHEK, R.; ANIL KUMAR, V.; MANOHAR, S.S.; VENUPRASAD, R. Iron and zinc concentrations in peanut (*Arachis hypogaea* L.) seeds and their relationship with other nutritional and yield parameters. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge University Press 2014 doi:10.1017/S0021859614000525.

KACHINSKI, W. D., VIDIGAL, J. C. B., ÁVILA, F. W. Zinco no solo, na planta e a saúde humana: uma revisão. *Research Society and Development*, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i7.3544.

GRACIANO, P. D. Biofortificação agrônômica com zinco em cultivares de alface crespa recurso eletrônico. - 2019.

LARSSON, S. C. E., WOLK, A. “Mais Alimentos Ricos em Magnésio para Menos Diabetes”, *Revista de Medicina Interna*, Vol. 262, nº 2, 2007, pp. 208-214.

NEPOMOCENO, M. de L. Biofortificação de alimentos: problema ou solução? *Segurança Alimentar Nutrição*, Campinas, v. 25, n. 2, p. 66-84, maio/ago. 2018.

LOUREIRO. M. P. et al., Biofortificação de alimentos: problema ou solução? *Segur. Aliment. Nutr.*, Campinas, v. 25, n. 2, p. 66-84, maio/ago. 2018 DOI: <http://dx.doi.org/10.20396/san.v25i2.8652300>.

Lozano, M. G., Amendoim: composição centesimal, ácidos graxos, fatores antinutricionais e minerais em cultivares produzidos no Estado de São Paulo. Versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011. Piracicaba, 2016.

MANUAL. Adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10 ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004.

MAO, H.; WANG, J.; WANG, Z.; ZAN, Y.; LYONS, G.; ZOU, C. Using agronomic biofortification to boost zinc, selenium, and iodine concentrations of food crops grown on the loess plateau in China. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, Santiago, v. 14, n. 2, p. 459-470, 2014.

MERESA, H.; ASSEFA, D.; TSEHAYE, Y. Response of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) genotypes to combined application of phosphorus and foliar zinc fertilizers in Central Tigray, Ethiopia. *Environ Syst Res* (2020).

NANDI, et al. (2020). Effect of Zn and B on the Growth and Nutrient Uptake in Groundnut. *British Journal of Applied Science & Technology*, Past ISSN: 2231-0843.

NASCIMENTO, M. S. et al. Nutrient extraction and exportation by castor bean hybrid Iyra. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 1, p. 113-124, 2012.

NOULAS, C. MILTIADIS, T. THEODORE, K. Zinc in soils, water and food crops. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2018.02.009.

NUTTI, R.N. **Biofortificação no Brasil. EMBRAPA Agroindústria de Alimentos. 2010.**

RADHIKA, K.; MEENA, S. Effect of zinc on growth, yield, nutrient uptake and quality of groundnut: A review. *The Pharma Innovation Journal* 2021; 10(2): 541-546.

RENGEL, Z. Availability of Mn, Zn and Fe in the rhizosphere. *Journal of soil science and plant nutrition*, 15(2), 397–409. 2015.

RATHNAKUMAR, A. L., SINGH, R., PARMAR, D. L., e MISHRA, J. B. (2013). *Groundnut: a Crop Profile and Compendium of Notified Varieties of India*. Junagadh: Directorate of Groundnut Research.

ROCHA, R. A; VALLS, J. F. M., O gênero *Arachis* L. (Fabaceae) no Rio Grande do Sul. *R. bras. Bioci.*, Porto Alegre, v. 15, n.3, p. 99-118, jul./set. 2017.

SETTALURI et al., Peanuts and Their Nutritional Aspects—A Review. *2012 Food and Nutrition Sciences* 03(12):1644-1650. DOI:10.4236/fns.2012.312215.

SAHA, et al. 2015. Influence of Zn, B and S on the yield and quality of groundnut (*Arachis Hypogaea* L.). Print ISSN:0250-5371 / Online ISSN:0976-0571. 2015.

SILVA, E. D. et al. **PEANUT PLANT NUTRIENT ABSORPTION AND GROWTH. Rev. Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 3, p. 653 – 661, jul. – set., 2017.

SILVA, G.C.C. Biofortificação de Soja com zinco. – Viçosa, MG, 2017. viii, 22f. : il. 29 cm. CDD 22. ed. 633.34; S586p 2017.

SILVEIRA et al. (2003). Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1083-1087, set. 2003.

SINGH, A. L. and CHAUDHARI, V., Zinc Biofortification in Sixty Groundnut Cultivars Through Foliar Application of Zinc Sulphate. *Journal of Plant Nutrition*, 38:11, 1734-1753, 2015 DOI: 10.1080/01904167.2015.1042165.

SINGH, et al. Crop productivity, soil health, and energy dynamics of Indian Himalayan intensified organic maize-based systems. *International Soil and Water Conversation Research*. 2021.

VARIATH, M. T. and JANILA, P.; Economic and Academic Importance of Peanut. Springer International Publishing AG 2017 R.K. Varshney et al. (eds.), *The Peanut Genome, Compendium of Plant Genomes*, DOI 10.1007/978-3-319-63935-2_2.

VERGÜTZ, L.; LUZ, J. M. R.; SILVA, M. C. S.; KASUYA, M. C. M. Biofortificação de alimentos: saúde ao alcance de todos. *Boletim Informativo da SBCS*, v. 42, n. 2, p. 20-23, 2016.

VODYANITSKII, Y. N. Zinc forms in soils (Review of publications). *Eurasian Soil Science*. DOI: 10.1134/S106422931003004X. 2008.

ZHANG, et al. 2015. Zinc biofortification of wheat through fertilizer applications in different locations of China. Y.-Q. Zhang et al. / *Field Crops Research* 125 (2011).