

**UniRV- UNIVERSIDADE DE RIO VERDE**  
**FACULDADE DE AGRONOMIA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL**

**ADUBAÇÃO FOLIAR COM ZN EM CULTIVARES DE SOJA PARA**  
**BIOFORTIFICAÇÃO DE GRÃOS**

**KAMILA LOBATO MORAES**

*Magister Scientiae*

**RIO VERDE**  
**GOIÁS – BRASIL**

**2023**

**KAMILA LOBATO MORAES**

**ADUBAÇÃO FOLIAR COM ZN EM CULTIVARES DE SOJA PARA  
BIOFORTIFICAÇÃO DE GRÃOS**

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para à obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**RIO VERDE  
GOIÁS - BRASIL  
2023**

Universidade de Rio Verde  
Biblioteca Luiza Carlinda de Oliveira  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – (CIP)

M821 Moraes, Kamila Lobato

Adubação foliar com Zn em cultivares de soja para biofortificação de grãos. / Kamila Lobato Moraes. – 2023.

51 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão.

Dissertação (Mestrado) — Universidade de Rio Verde - UniRV, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Faculdade de Agronomia, 2023.

Contém índice de tabelas e figuras.

1. Micronutriente. 2. *Glycine max*. 3. Sulfato de Zn. 4. Enriquecimento de grãos. I. Cantão, Veridiana Cardozo Gonçalves. II. Título.

CDD: 631.8

Bibliotecário: Juatan Tiago da Silva – CRB 1/3158

KAMILA LOBATO MORAES

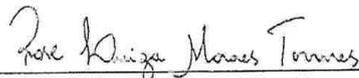
ADUBAÇÃO FOLIAR COM ZINCO EM CULTIVARES DE SOJA PARA  
BIOFORTIFICAÇÃO DE GRÃOS

Dissertação apresentada à UniRV – Universidade de Rio Verde, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

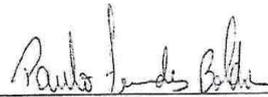
APROVAÇÃO: 23 de outubro de 2023



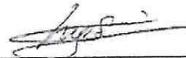
\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão  
Presidente da Banca Examinadora  
Membro – FA/UniRV



\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Rose Luiza Moraes Tavares  
Membro - FA/UniRV



\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Paulo Fernandes Boldrin  
Membro - FA/UniRV



\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Lucas Anjos de Souza  
Membro Externo – IF Goiano Rio Verde

## EPÍGRAFE

*“Não te mandei eu? Esforça-te, e tem bom  
ânimo; não temas, nem te espantes; porque o  
Senhor teu Deus é contigo, por onde quer que  
andares.”*

*Bíblia Sagrada, Josué 1:9*

## DEDICATÓRIA

Ao Senhor Deus, que está sempre presente em minha vida, por ter me fortalecido e guiado ao decorrer da minha trajetória.

Ao meu esposo André Luiz Sousa Silva Filho, pelo apoio na trajetória da minha carreira acadêmica e profissional.

Aos meus pais: Sergio Eduardo Moraes e Sônia Lobato Silva Moraes, por se fazerem presentes em minha vida e nesta etapa.

Ao meu amado filho Lázaro Silva Moraes, que deu sentido especial à minha vida e me proporcionou grandes momentos de felicidade.

A minha orientadora, Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão, que foi mais do que uma amiga, foi uma mãe e que sempre esteve ao meu lado: apoiando, aconselhando e encorajando a romper medos e inseguranças pessoais e profissionais.

## AGRADECIMENTO

A Deus, pela oportunidade de crescer e romper em minha trajetória profissional.

Ao curso de Mestrado em Produção Vegetal da UniRV e aos professores, que me ensinaram neste período.

A minha orientadora Dra. Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão: pelos ensinamentos, paciência, persistência, atenção e compreensão, que teve a todo momento presente, se tornando assim uma amiga e conselheira em minha trajetória profissional e pessoal. A você dedico toda a minha gratidão, você foi e sempre será aquela pessoa que me fez crescer, perder a timidez e romper obstáculos impostos pela minha carreira acadêmica e profissional!

Ao Grupo Associado de Pesquisa do Sudoeste Goiano (GAPES), pelo auxílio financeiro e por ceder o local para a realização do presente estudo, em especial ao Gerente de Pesquisa; Túlio Porto Gonçalves e ao analista de dados; Autielis Aparecido Rodrigues Ferreira, por todo suporte necessário, durante a realização deste trabalho.

A minha família, por estar comigo nesta jornada. Cada oração, cada ajuda, cada ensinamento me fizeram chegar até aqui, por isso, sou eternamente grata. Obrigada, esta conquista é nossa!

Aos membros da banca examinadora deste trabalho, por terem aceitado o convite em contribuir com o aperfeiçoamento da redação do presente estudo.

A secretária do PPGPV, Rizzia Arantes, pelo atendimento profissional e competente, durante este período de convivência.

A todos os Docentes da Universidade de Rio Verde, que agregaram aos meus conhecimentos, durante o período em que fui discente do PPGPV.

## **DADOS GERAIS**

**Título:** Adubação com Zn em materiais genéticos de soja para biofortificação de grãos.

**Órgão Executor:** Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da UniRV.

### **Equipe de Trabalho:**

Engenheira Agrônoma: Kamila Lobato Moraes (Autor e Executor Principal). UniRV

Doutora: Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão (Orientador). UniRV

Doutor: Luiz Roberto Guimarães Guilherme (Coorientador). UFLA

Graduanda: Larissa Laguardia Ferreira Martins (Colaboradora). UniRV

Graduando: Lucca Oliveira Magalhães (Colaborador). UniRV

Graduando: Gustavo Teixeira Martins (Colaborador). UniRV

**Duração:** Janeiro de 2021 até Outubro de 2023.

**Local de Realização:** Grupo Associado de Pesquisa do Sudoeste Goiano.  
Laboratório Multiusuários, UniRV.

**Área de Conhecimento:** Ciência do Solo (Manejo de Solos).

**Palavras-chave:** Micronutriente, *Glycine max*, sulfato de Zn, enriquecimento de grãos.

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vii
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÕES BIBLIOGRÁFICAS.....	2
2.1 Soja ( <i>Glycine max</i> ).....	2
2.2 Carência nutricional e desnutrição.....	4
2.3 Biofortificação e segurança alimentar.....	5
2.4 Solos do Cerrado brasileiro e adubação com Zn.....	6
2.5 Funções do Zn.....	7
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	8
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	14
5 CONCLUSÕES.....	28
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	29

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Análise química e física do solo da área experimental.....	8
TABELA 2	Tratamentos, cultivares de soja, momento de aplicação e doses propostas para as avaliações.....	11
TABELA 3	Grau de maturação, tecnologia, porcentual de germinação e porcentual de vigor dos cultivares de soja avaliados.....	12
TABELA 4	Resumo ANAVA (C.V.) para as avaliações de clorofila A (Cl. A), clorofila B (Cl. B), clorofila total (Cl. T), relação entre clorofila A e B (Cl. A/ Cl. B) e teor de Zn foliar (Teor Zn F).....	14
TABELA 5	Médias da avaliação de clorofila B em função do momento de aplicação e cultivares de soja.....	16
TABELA 6	Médias da avaliação de clorofila total em função do momento de aplicação e cultivares soja.....	17
TABELA 7	Resumo ANAVA (C.V.) para as avaliações de número de nós (NÓS), número de entrenós (E. NÓS) e número de ramificações (RAMIF).....	18
TABELA 8	Médias da avaliação de número de nós em função das cultivares de soja e momento de aplicação.....	19
TABELA 9	Médias da avaliação de número de entrenós em função das cultivares de soja e momento de aplicação.....	19
TABELA 10	Médias da avaliação do número de ramificações em função da safra e momento de aplicação.....	20
TABELA 11	Resumo ANAVA (C.V.) para as avaliações de vagens de 1, 2, 3 e 4 grãos e vagens totais.....	21
TABELA 12	Médias da avaliação de vagens de 2 grãos em função das cultivares de soja e momento de aplicação.....	22
TABELA 13	Resumo ANAVA (C. V.) para as avaliações de número de grãos (GRÃOS), peso de 100 grãos (P100G), produtividade (PROD) e teor de Zn no grão (Teor Zn G).....	24
TABELA 14	Médias da avaliação de peso de 100 grãos em função das cultivares de soja * safra.....	24

TABELA 15	Médias da avaliação de produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) em função das cultivares de soja * safra.....	26
TABELA 16	Resumo ANAVA (C. V.) para as avaliações de número de grãos (GRÃOS), peso de 100 grãos (P100G), produtividade (PROD) e teor de Zn no grão (Teor Zn G).....	27

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Pluviometria diária e acumulada, temperatura média, umidade relativa e luminosidade obtidos, por estação meteorológica automática no CIT GAPES, safra 2021-2022 [A] e safra 2022-2023[B] em Rio Verde – GO.	9
FIGURA 2	Balanco hídrico da safra 2021-2022 [A] e safra 2022-2023 [B] em Rio Verde – GO.....	10
FIGURA 3	Fluxograma da análise nítrico-perclórica para a determinação dos teores de Zn segundo Metodologia proposta por Embrapa solos (EMBRAPA, 2000). .....	13
FIGURA 4	Médias das avaliações de clorofila A (Cl. A), clorofila B (Cl. B) e clorofila total (Cl. T).....	15
FIGURA 5	Médias da avaliação de teor de Zn foliar ( $\text{mg kg}^{-1}$ ).....	17
FIGURA 6	Médias da avaliação de ramificações em função das cultivares de soja	20
FIGURA 7	Médias da avaliação de vagens de 3 grãos em função das cultivares de soja.....	22
FIGURA 8	Médias da avaliação e vagens de 4 grãos em função das cultivares de soja	23
FIGURA 9	Médias das avaliações de produtividade ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e teor de Zn nos grãos ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em função da modalidade de aplicação.....	25
FIGURA 10	Média da avaliação de teor de Zn nos grãos ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) em função dos ciclos das cultivares.....	27

## RESUMO

MORAES, K. L., **Adubação foliar com zn em cultivares de soja para biofortificação de grãos**. 2023, 51p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal), Universidade de Rio Verde, Rio Verde - GO, 2023.

A soja (*Glycine max*) é uma das culturas de maior expressão no Brasil, principalmente na região do cerrado. Devido a sua versatilidade, estima-se que é utilizada em programas de biofortificação agrônômica. Neste contexto, o Zn (Zn) é elementos que apresenta maiores problemas quando relacionado com a desnutrição humana, sendo assim, objetivou-se avaliar o potencial da biofortificação com Zn em grãos de soja, visto que seus derivados estão presentes na alimentação humana há décadas. Para isso, foi implementado um experimento em condições de campo, na fazenda experimental do GAPES – Grupo Associado de Pesquisa do Sudoeste Goiano, cuja condução ocorreu nas safras 2021/22 e 2022/23. Foi adotado o delineamento de blocos ao acaso (DBC) e em esquema fatorial 3x8, sendo 3 momentos de aplicação foliar (controle, R3 e R3 + R5), 8 cultivares de soja (BMX Foco IPRO, BMX Desafio RR, BMX Bônus IPRO, DM 68i69 IPRO, NEO 680 IPRO, DM 80i79 IPRO, BMX Única IPRO e NEO 710 IPRO), utilizando-se aplicação foliar de Zn, em cultivares de soja. Estes foram avaliados mediante a aplicação do micronutriente (única e parcelada em duas) em diferentes estádios fenológicos da cultura. Foram avaliados: o estande, índice de clorofila A e B, altura de plantas, teor foliar de Zn, número de nós e entrenós por planta, quantidade de ramificações por planta, número de vagens com 1, 2, 3 e 4 grãos por planta, peso de mil grãos, produtividade e teor de Zn nos grãos. As variedades: BMX Bônus IPRO e BMX Única IPRO demonstraram um notável potencial, em resposta à aplicação foliar de Zn, especialmente durante os estágios R3 e R3 + R5. Em um contexto mais amplo, essas cultivares apresentam uma série de vantagens distintas, incluindo: teores mais elevados de clorofila B, habilidade de resposta à suplementação de Zn, maior número de nós e entrenós, produção aprimorada de vagens com 2 grãos e um peso de 100 grãos superior. A aplicação foliar de Zn, durante os estágios R3 + R5 demonstrou ser uma estratégia eficaz para a biofortificação dos grãos de soja, resultando em um aumento significativo do teor de Zn nos grãos e, conseqüentemente, da produtividade. Isso oferece benefícios substanciais, tanto para os produtores, por meio da valorização dos grãos, quanto para a saúde pública, ao melhorar a qualidade nutricional dos alimentos.

**Palavras-chave:** Micronutriente, *Glycine max*, sulfato de Zn, enriquecimento de grãos.

## ABSTRACT

MORAES, K. L., **Foliar fertilization with zn in soybean cultivars for grain biofortification.** 2023, 51 p. Dissertation (Master in Crop Production), Universidade de Rio Verde, Rio Verde - GO, 2023.

Soybean (*Glycine max*) is one of the most important crops in Brazil, mainly in the cerrado region. Due to its versatility, it is estimated that it is used in agronomic biofortification programs. In this context, Zn (Zn) is an element that presents the greatest problems when related to human malnutrition, therefore, the objective was to evaluate the potential of biofortification with Zn in soybeans, given that its derivatives have been present in human food for decades. . To this end, an experiment was implemented under field conditions, on the experimental farm of GAPES – Grupo Associado de Pesquisa do Sudoeste Goiano, which took place in the 2021/22 and 2022/23 harvests. A randomized block design (DBC) was adopted in a 3x8 factorial scheme, with 3 moments of foliar application (control, R3 and R3 + R5), 8 soybean cultivars (BMX Foco IPRO, BMX Desafio RR, BMX Bônus IPRO, DM 68i69 IPRO, NEO 680 IPRO, DM 80i79 IPRO, BMX Única IPRO and NEO 710 IPRO), using foliar application of Zn, in soybean cultivars. These were evaluated through the application of the micronutrient (single and divided into two) at different phenological stages of the crop. The following were evaluated: the stand, chlorophyll A and B index, plant height, leaf Zn content, number of nodes and internodes per plant, number of branches per plant, number of pods with 1, 2, 3 and 4 grains per plant, weight of a thousand grains, productivity and Zn content in the grains. The varieties: BMX Bônus IPRO and BMX Única IPRO demonstrated remarkable potential in response to foliar application of Zn, especially during the R3 and R3 + R5 stages. In a broader context, these cultivars present a number of distinct advantages, including: higher chlorophyll B content, ability to respond to Zn supplementation, greater number of nodes and internodes, improved production of 2-grain pods and a weight of 100 grain superior. Foliar application of Zn during the R3 + R5 stages proved to be an effective strategy for the biofortification of soybeans, resulting in a significant increase in the Zn content in the grains and, consequently, in productivity. This offers substantial benefits, both for producers, through the valorization of grains, and for public health, by improving the nutritional quality of food.

**Key-words:** Micronutrient, *Glycine max*, Zn sulfate, grain enrichment.

# 1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional mundial acontecendo em ritmo acelerado por anos, a deficiência nutricional se tornou uma realidade, principalmente em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, como o Brasil, ocasionando problemas na saúde (GODFRAY et al., 2010). Assim, mais de 2 bilhões de pessoas no mundo sofrem com a deficiência de Zinco (Zn), o consumo de forma inadequada ou deficiente, pode gerar distúrbios fisiológicos, aumento das taxas de mortalidade, baixo rendimento produtivo, retardo mental, crescimento inadequado, problemas imunológicos e em condições severas pode ocasionar óbito. (LONG; BANZIGER; SMITH, 2004; PRASAD, 2020).

Tal deficiência é considerada um problema de saúde pública, por acometer principalmente crianças de até 5 anos, gestantes, lactantes e idosos, visto que a taxa de natalidade vem aumentando consideravelmente, bem como a expectativa de vida, mostrando uma linha crescente de nascidos vivos e idosos, sendo estes os grupos de risco para a deficiência do nutriente Zn (TAO ZOU et al. 2013; OPAS, 2008).

No ano de 2016, a Organização das Nações Unidas (ONU) propôs aos líderes mundiais 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) para que, coletivamente, a humanidade pudesse contribuir com a redução da pobreza, desigualdade, desnutrição e das mudanças climáticas. Um dos intuítos deste projeto era acabar com a fome e desnutrição trazendo consigo a segurança alimentar da população mundial (ONU, 2016).

A ODS 2 intitulada “fome zero e agricultura sustentável” teve como meta acabar com a fome e garantir o acesso de toda a população, em particular de baixa renda e vulneráveis, incluindo crianças, a alimentos seguros, nutritivos e suficientes, bem como acabar com toda e qualquer forma de desnutrição em crianças menores de 5 anos de idade, mulheres grávidas, lactantes e idosos. Já a ODS 3 intitulada “saúde e bem estar” objetivou acabar com as mortes evitáveis de recém-nascidos e crianças menores de 5 anos (ONU, 2016).

Há várias décadas, a soja e seus derivados tem desempenhado um papel importante na alimentação humana, sendo conhecida como alimento funcional devido a sua composição conter todos os aminoácidos essenciais para o ser humano, além das substâncias benéficas capazes de regular as respostas metabólicas. Isso resulta em uma maior proteção contra doenças degenerativas e crônicas (CARRÃO-PANIZZI; MANDARINO, 1998).

Sabendo que os grãos de soja são uma boa fonte de nutrientes, sua utilização na alimentação tem ocorrido de forma crescente, com isso estratégias têm sido traçadas, sobre seu

consumo como fonte de nutrientes para suprir a carência nutricional da população (CARRÃO-PANIZZI et al., 1998), visto que esta cultura permite a utilização da técnica de biofortificação agrônômica. Esta técnica refere-se à melhoria em relação a qualidade nutricional dos grãos de soja, por meio de diferentes técnicas, como tecnologias de DNA recombinante, melhoramento convencional de plantas, tecnologias atreladas as fontes dos nutrientes e práticas de adubação via solo ou foliar (PALMGREN et al., 2008; NATASHA et al., 2021).

A adubação foliar permite o fornecimento do nutriente no período mais exigente do mesmo pela cultura, visto que esta é realizada através de pulverizador na parte aérea, não se restringido há sementeira ou nos períodos iniciais (vegetativo) (MALAVOLTA, 2006; CANTARELLA, 2017).

Partindo da hipótese que a aplicação foliar do micronutriente Zn favorece a absorção, translocação e redistribuição do mesmo nas estruturas vegetativas da soja principalmente nos grãos e que cultivares de soja apresentam diferentes ciclos de maturação, apresentando assim diferentes habilidades na absorção de Zn, objetivou-se no presente estudo avaliar e selecionar cultivares de soja que apresentam maior capacidade de acúmulo de Zn no grão para serem utilizados em programas de biofortificação, bem como avaliar a eficácia e eficiência do fornecimento do nutriente Zn mediante a aplicação foliar.

## **2 REVISÕES BIBLIOGRÁFICAS**

### **2.1 Soja (*Glycine max*)**

A soja é uma das culturas de maior importância econômica no mundo. O cultivo da leguminosa constitui uma das atividades de maior relevância para a economia do Brasil. É cultivada por todo território nacional, e apresenta produtividades médias bastante competitivas no mercado internacional. A safra de 2022/2023 alcançou uma produção superior a 154 milhões de toneladas do grão, sendo está cultivada em uma área de 44 milhões de hectares, superando a estimativa de safra realizada em outubro de 2022 pela CONAB em 1,5% e 10,9% superior ao recorde de produção da safra 2020/2021 (CONAB, 2023; CONAB,2022; CONAB, 2016).

Tal importância e proveniente devido os seus grãos possuírem alta porcentagem de proteínas, podendo assim desempenhar um papel importante para a segurança alimentar mundial (ZHAN et al., 2019; DAI et al., 2020), por outro lado, seu rendimento é o menos

afetado pelas mudanças climáticas desde 1980 quando comparado com as culturas de trigo, feijão e milho (LOBELL et al., 2011; DAI et al., 2020), sendo esta resposta extremamente importante para as próximas décadas.

Além destes fatores, a distribuição geográfica de deficiência de Zn mais severa coincide com a distribuição dos principais produtores e consumidores de soja (América Central América do Sul e Sudeste Asiático), tendo como exceção a África (WESSELS; BROWN, 2012; DAI et al., 2020).

Sendo considerada um dos principais produtos agrícolas, nacionalmente e globalmente, a soja tem ampla utilização na cadeia produtiva de proteína animal. O uso na dieta humana é mais difundido na cultura alimentar oriental, mas passa por franca expansão no ocidente. Seu apelo nutricional é relevante, o grão conta com 40% de proteínas, sendo rico em praticamente todos os aminoácidos essenciais, além disso, conta com 20% de óleo, 35% de carboidratos e compostos com funções estruturais, hormonais, atrativas e quimiopreventivas, com destaque para fibras, carotenoides e os flavonoides (CARRÃO-PANNIZZI; MANDARINO 1998; MATA-RAMÍREZ et al., 2019). A substituição da proteína animal tem sido muito visada, sendo a soja uma opção menos calórica, com boa qualidade nutricional e aceitação pelo público (WU; RODGERS; MARSHALL, 2004).

Os fitoquímicos presentes nos grãos (isoflavonas, esteróis, compostos fenólicos e soja saponinas) estão associados a prevenção de inflamações, câncer, osteoporose e doenças cardiovasculares, com destaque para as isoflavonas. Estes compostos desempenham importante papel na saúde humana devido a sua capacidade de ligação aos receptores do hormônio estrogênio. Além disso as isoflavonas (genisteína, daidzeína e gliciteína) apresentam atividade imunomoduladora (MATA-RAMÍREZ et al., 2019).

O óleo de soja, produto com alta aceitação pelos brasileiros, é fonte de: calorias, ácidos graxos essenciais, vitaminas A e E, além de ter uma das mais altas concentrações de iodo em oleaginosas. Devido a sua insaturação, o óleo de soja tende a reduzir o colesterol sérico, sendo útil para a saúde de indivíduos com hipercolesterolemia (LOKURUKA, 2010). O consumo de lipídeos equivale a 24% da dieta global, entretanto nos países subdesenvolvidos esse valor é apenas 21%, contrastando com os 33% dos países desenvolvidos. Demonstrando que nos países onde a desnutrição é mais prevalente, os óleos vegetais, são componentes essenciais para o *intake* calórico. Portanto, o acesso a óleos vegetais, como o de soja, é uma ferramenta de combate à fome (FAO, 2004).

Ainda não existe um consenso definitivo sobre o consumo diário ideal da proteína de soja, para garantia de efeitos positivos à saúde, alguns estudos sugerem que até em quantidades

inferiores a 25g, o consumo de soja traz benefícios. O governo chinês recomenda o consumo de ao menos 50g de soja por dia para ganho nutricional, já nos EUA, a recomendação oficial é de 25g (USSEC, 2015). Com a existência de recomendações acerca do aporte nutricional de soja, além do crescente interesse do público por produtos à base de proteína de soja, o grão ocupa uma posição estratégica no processo de biofortificação agrônômica com Zn. Este cenário favorece não somente o consumidor humano e animal, mas também beneficia o desenvolvimento e aumento da produtividade em solos com baixo teor do elemento (CESB, 2016).

## **2.2 Carência nutricional e desnutrição**

O termo segurança alimentar surgiu durante a Primeira Guerra Mundial (1914- 1918), inicialmente englobava a capacidade de cada país produzir seu próprio alimento, evitando vulnerabilidade: a embargos, cercos ou boicotes. O conceito se fortaleceu após a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), especialmente após a fundação da Organização das Nações Unidas, sendo expandido para incluir a garantia de acesso físico e econômico a uma quantidade suficiente de alimentos para todos os indivíduos. Entre as décadas de 80 e 90, a segurança alimentar passou a também, a denotar a noção de acesso a alimentos seguros, de qualidade, produzidos de forma sustentável, equilibrada, culturalmente aceitáveis e também foi incorporada à ideia de acesso à informação (ABRANDH, 2013; MORAIS, 2014).

Na América Latina, a desnutrição aumenta gradativamente desde 2014, permitindo que a prevalência da mesma atingisse os níveis de 2005, o seu ponto mais alto nos últimos quinze anos, atualmente a desnutrição na região é de 9,1% (FAO, 2021).

A carência nutricional continua prevalente, acometendo quase 2 bilhões de pessoas no mundo, entretanto, esta não se resume apenas a indisponibilidade de alimentos. O mundo passa, no momento, pela transição nutricional, processo marcado por uma dualidade: a coexistência de carências nutricionais (desnutrição, e deficiências de micronutrientes) e a epidemia de excesso de peso associado às doenças crônicas não transmissíveis. Neste contexto, a carência alimentar pode se manifestar, inclusive, como obesidade, no processo conhecido como fome oculta, caracterizado pela inadequação alimentar, seja ela qualitativa ou quantitativa (MORAIS, 2014; PRASAD, 2020).

A pobreza, grande catalisadora da fome oculta, submete famílias a uma alimentação dependente de alimentos processados e ultraprocessados, sendo estes ricos em: açúcares, sais e gorduras saturadas, e deficientes em: proteínas, fibras e demais nutrientes relevantes à saúde

humana (SANTOS et al., 2007). São diversos os prejuízos fisiológicos da desnutrição, com impactos: na função cognitiva, capacidade laboral e susceptibilidade a doenças. Crianças, idosos e gestantes estão entre os grupos mais vulneráveis aos impactos negativos dos déficits nutricionais. Aproximadamente 340 milhões de crianças vivem com alguma carência nutricional, sendo que nos países em desenvolvimento mais de 12 milhões de crianças menores de 5 anos morrem por consequência direta ou indireta da desnutrição (FRAGA; VARELA, 2012; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2008). Nos países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento, a deficiência do micronutriente Zn ocupa o 5º lugar de fatores de risco à saúde e o 11º considerando o mundo, isso mostra a relevância de uma alimentação adequada em relação ao nutriente (PALMGREN et al., 2008; NATASHA et al., 2021).

### **2.3 Biofortificação e segurança alimentar**

A demanda por alimentos acompanha o crescimento populacional, com diversas adaptações produtivas para o aumento de produtividade das culturas. Não obstante, o aumento de produtividade não é suficiente para adequadamente nutrir a população, sendo necessárias melhorias do perfil nutricional das cultivares (CAKMAK, 2008; CAKMAK; PFEIFFER; MCCLAFFERTY, 2010).

A deficiência de micronutrientes é considerada um problema de saúde pública, atrelada a diversos problemas de saúde, dentre eles deficiência imunológica e anemia, logo, a agricultura precisa ir além de melhorias quantitativas ou métodos qualitativos sendo necessários para o combate da fome oculta (LOUREIRO et al., 2018).

Portanto, métodos agronômicos voltados a nutrição mineral das plantas, são empregados para o melhoramento da eficácia dos fertilizantes, estes objetivam o desenvolvimento das culturas, além de otimizarem a aquisição e utilização fisiológica de: nutrientes, elementos benéficos e vitaminas (FAGERIA et al., 2011; WHITE; BROWN, 2010). Tais estratégias, tem como destaque a sustentabilidade econômica da agricultura, atuando nas frentes da segurança alimentar e ambiental (WHITE et al., 2012).

A biofortificação agronômica é uma prática complementar cujo o objetivo principal é aprimorar o valor nutricional dos grãos. A técnica se baseia na utilização de adubos minerais e na melhoria da solubilização e mobilização dos mesmos. Sendo utilizados fertilizantes contendo nutrientes e elementos benéficos a dieta humana, os principais são: Zn, Cu, Fe, I, Se, Mg e Ca. A viabilidade do método depende de diversos fatores, tais como composição do solo, mobilidade do elemento químico no solo e a capacidade da planta armazená-lo nas partes

comestíveis (GRAHAM et al., 2007; WHITE; BROADLEY, 2009; BOUIS; WELCH, 2010; CAKMAK, 2008; CAKMAK, 2004; JOHNS; EYZAGUIRRE, 2007; KHOSHGOFTARMANESH et al., 2010; LOUREIRO et al., 2018).

O enriquecimento do teor de Zn depende tanto do manejo adequado do solo, quanto do beneficiamento do micronutriente pela biofortificação agrônômica, sendo práticas especialmente relevantes as culturas direcionadas à alimentação (CAKMAK; PFEIFFER; MCCLAFFERTY, 2010). A adubação com Zn pode ser obtida por métodos de aplicação via: solo, foliar, tratamento de semente e fertirrigação, sendo que o método via foliar tem melhores resultados concernentes ao transporte do Zn até os frutos e demais partes em desenvolvimento da planta (WELCH, 1995; MALAVOLTA, 2006).

#### **2.4 Solos do Cerrado brasileiro e adubação com Zn**

Os solos do Cerrado brasileiro são considerados de baixa fertilidade natural, apresentando pouca disponibilidade de Zn (Zn) e embora os micronutrientes sejam exigidos pelas plantas em menores quantidades, o fornecimento é fundamental para o adequado desenvolvimento das plantas (RESENDE, 2004; WENNECK et al., 2020).

A dinâmica do Zn no solo é influenciada por alguns fatores, especialmente o pH, concentrações de outros nutrientes, como cobre, ferro, manganês e fósforo, os teores de argila e sistema de cultivo empregado. Os mecanismos de adsorção e precipitação controlam a disponibilidade de Zn no solo, sendo a precipitação influenciada pela adubação fosfatada (CAMARGO, 1991; INOCENCIO, 2014).

No entanto, a absorção do Zn pelas plantas ocorre em canais específicos e não específicos por meio de difusão e interceptação radicular mostrando que sua absorção está diretamente ligada com os teores de Zn no solo e sua disponibilidade (NATASHA et al., 2021).

A soja extrai cerca de 47,4 g de Zn do solo para produzir uma tonelada de grãos, onde 29,6 g do micronutriente é exportada pelos grãos (WENNECK et al., 2020), apresentando baixa mobilidade nas plantas, portanto, elevada concentração nas raízes, sendo 70% retido nas raízes, sendo 30% translocado para a parte aérea (PAULETTI; MOTTA, 2017; WENNECK et al., 2020; NATASHA et al., 2021).

Diante destes fatos destaca-se que o Zn é um dos micronutrientes que mais frequentemente resulta em deficiência nas culturas comerciais, havendo assim, a necessidade de adicioná-lo via fertilizantes aos sistemas de cultivo para que este não limite a produtividade

(OLIVEIRA et al., 2017; LOPES; GUILHERME, 2016). A soja, é uma cultura classificada com média capacidade de resposta a adubação do Zn, assim, recomenda-se a adubação com o micronutriente (OLIVEIRA et al., 2017).

Uma das ferramentas de adubação é a via foliar que consiste na aplicação de nutrientes (macro e micronutrientes) diretamente nas folhas das plantas, por meio de pulverização, sendo uma ferramenta importante para atingir altas produtividades, pois permite que a cultura absorva os nutrientes de forma rápida e eficiente, bem como esta técnica permite corrigir deficiências nutricionais de forma mais rápida do que a adubação convencional via solo (MALAVOLTA, 2006; CANTARELLA, 2017).

## **2.5 Funções do Zn**

O Zn é um micronutriente essencial para plantas, animais e seres humanos, sendo que nas plantas possui funções relacionadas a síntese proteica consequentes de seu papel na formação do aminoácido triptofano precursor do ácido indol acético (AIA), fitohormônio responsável pelo crescimento das plantas. Em caso de deficiência, a planta pode passar por redução de: altura, internódios, folhas e da produtividade (INOCENCIO, 2014; MASCARENHAS et al., 2014). O micronutriente é componente de um grande número de enzimas, tais como: as desidrogenases, proteinases, peptidases e fosfohidrolases, sendo que suas funções básicas na planta estão relacionadas ao metabolismo de carboidratos, proteínas, fosfatos e ribossomos (BORKERT, 1989) e no metabolismo de fenóis, no aumento, no tamanho e multiplicação celular, desintoxicação de radicais livres e na fertilidade do grão de pólen (MALAVOLTA et al, 1991; MARSCHER, 2012; DAI et al., 2020), assim a deficiência deste afeta o desenvolvimento da cultura, como o seu excesso gera condições de toxidez (HANSEL; OLIVEIRA, 2016; DAI et al., 2020).

No entanto, pelo fato de Zn ser componente de muitas enzimas metabólicas nas células vegetais e estas fazem parte do processo da fotossíntese, sendo que a adubação com Zn de forma adequada pode promover o aumento de fotossíntese pelas plantas, aumentando a sua eficiência e assimilação de CO<sub>2</sub> (DAI et al., 2020).

No organismo humano, o Zn é necessário para diversos processos metabólicos, influenciando a diferenciação celular, crescimento e reparo tecidual. A deficiência de Zn aumenta a suscetibilidade a doenças infecciosas, câncer e atraso intelectual. Tal condição atinge mais de dois milhões de pessoas no mundo (KOURY; DONANGELO, 2003). A deficiência de Zn foi correlacionada com dois processos afins: ingestão de alimentos com

baixos teores do elemento e a baixa disponibilidade deste no solo, leva a produção de vegetais deficientes em Zn (CAKMAK, 2008).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Centro de inovação e Tecnologia – CIT GAPES, no período da safra 2021-2022 e 2022-2023, instalado nos pontos de coordenadas: latitude de 17° 52'11''S e longitude de 50° 55'21''O, à 735 metros de altitude. No talhão, há predomínio de textura argilosa no solo conforme análise realizada previamente à aplicação dos tratamentos, apresentada na tabela 1.

Tabela 1 - Análise química e física do solo da área experimental

Prof. cm	pH CaCl <sub>2</sub>	M.O. g dm <sup>-3</sup>	C Orgânico g dm <sup>-3</sup>	P Mehlich mg dm <sup>-3</sup>	m %	V %	CTC efetiva cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	CTC potencial cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>		
0-20	4,90	15,20	19,10	5,60	2,30	76,60	4,86	6,20		
20-40	5,00	16,90	14,60	3,20	3,60	61,40	3,57	5,60		
Prof. cm	S mg dm <sup>-3</sup>	K cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Mg cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	H+Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Cu mg dm <sup>-3</sup>	Fe mg dm <sup>-3</sup>		
0-20	31,50	0,32	3,51	0,92	0,11	1,50	2,20	32,30		
20-40	55,60	0,19	2,39	0,86	0,13	2,20	1,90	31,00		
Prof. cm	Mn mg dm <sup>-3</sup>	Zn mg dm <sup>-3</sup>	K %	Ca %	Mg %	Ca/K	Mg/K	Argila g kg <sup>-1</sup>	Silte g kg <sup>-1</sup>	Areia g kg <sup>-1</sup>
0-20	37,30	1,10	5,20	56,60	14,80	11,00	2,90	420	70	510
20-40	22,60	0,60	3,40	42,70	15,40	12,60	4,50			

O pH em CaCl<sub>2</sub>: 4,90 encontra-se adequado. Já o teor de Zn de 1,10 mg.dm<sup>-3</sup> e fósforo de 5,60mg dm<sup>-3</sup>, encontravam-se inadequados segundo Sousa et al., 2004.

Aplicou-se na aérea experimental: 3,3 t ha<sup>-1</sup> de calcário (34% de CaO e 7% de MgO, com PRNT de 71,0% e PN 90%), 200 kg ha<sup>-1</sup> de MAP, 10 kg ha<sup>-1</sup> de Octaborato e 4 kg ha<sup>-1</sup> de óxido de Zn, o qual corresponde a 2 kg ha<sup>-1</sup> de Zn do tratamento controle (semeadura).

O clima na região do experimento, de acordo com a classificação de Köppen e Geiger enquadra-se na tipologia Aw caracterizada por região de clima tropical com estação seca de inverno. As informações sobre: pluviometria, temperatura (°C), umidade e luminosidade watt hora, por m<sup>2</sup> da área experimental estão apresentadas na figura 1. As informações sobre o balanço hídrico da área experimental estão apresentadas na figura 2.

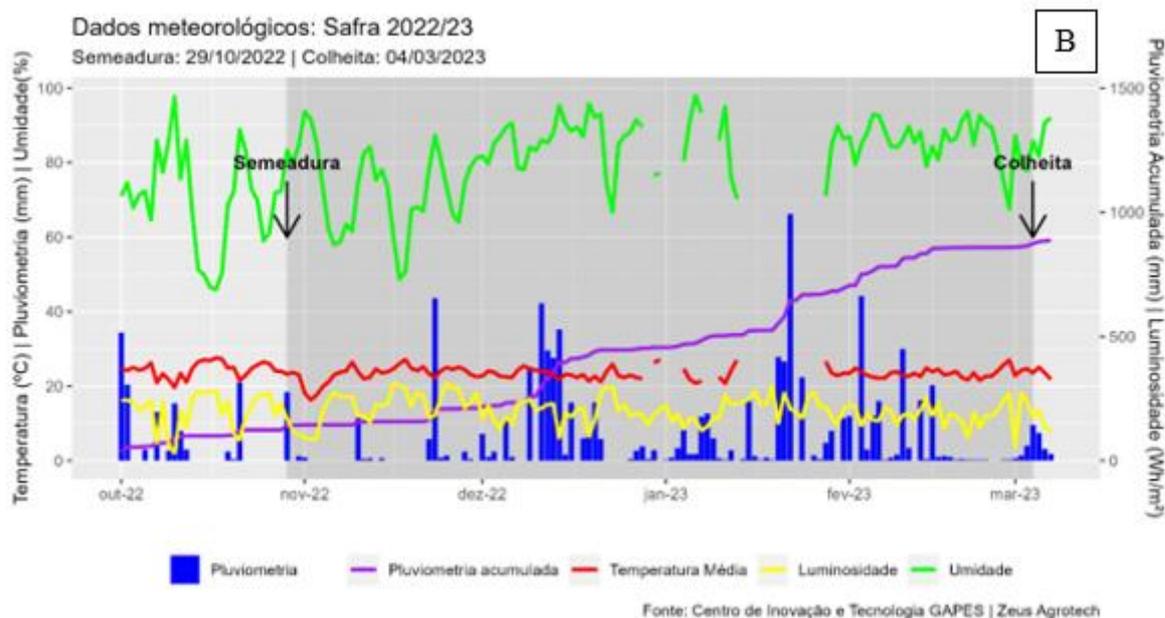
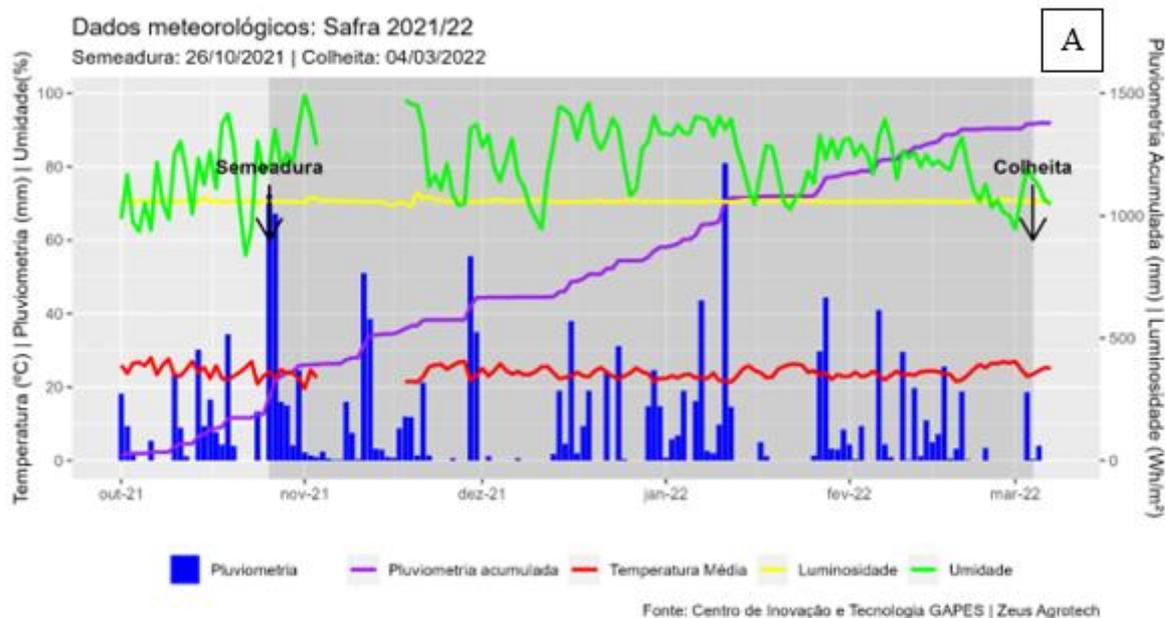


Figura 1 - Pluviometria diária e acumulada, temperatura média, umidade relativa e luminosidade obtidos, por estação meteorológica automática no CIT GAPES, safra 2021-2022 [A] e safra 2022-2023[B] em Rio Verde – GO.

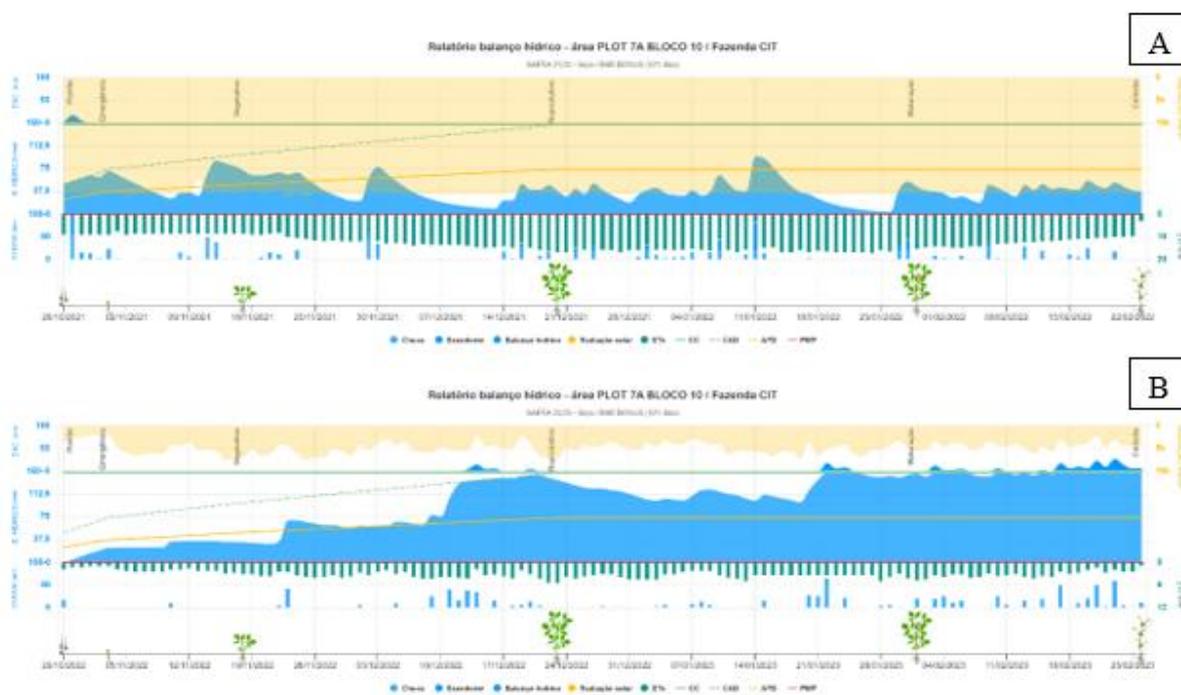


Figura 2 - Balanço hídrico da safra 2021-2022 [A] e safra 2022-2023 [B] em Rio Verde – GO.

O plantio da cultura foi realizado no sistema de semeadura direta no espaçamento de 0,5 m. Os tratos culturais foram realizados de acordo com os recomendados para a cultura, procedendo ao controle de pragas e doenças sem deixar que estes influenciassem em seu desenvolvimento.

Os tratamentos testados neste estudo foram cultivares de soja associadas com o momento de aplicação foliar de Zn via Sulfato de Zn (17% de Zn), em relação ao estágio fenológico da cultura (Tabela 2).

Tabela 2 - Tratamentos, cultivares de soja, momento de aplicação e doses propostas para as avaliações

Tratamento	Cultivares	Semeadura	R3	R5
		Zn (kg ha <sup>-1</sup> )		
T1	BMX Bônus IPRO	2,0	-	-
T2		2,0	0,5	0,5
T3		2,0	1,0	-
T4	BMX Desafio RR	2,0	-	-
T5		2,0	0,5	0,5
T6		2,0	1,0	-
T7	BMX Foco IPRO	2,0	-	-
T8		2,0	0,5	0,5
T9		2,0	1,0	-
T10	DM 68i69 IPRO	2,0	-	-
T11		2,0	0,5	0,5
T12		2,0	1,0	-
T13	NEO 680 IPRO	2,0	-	-
T14		2,0	0,5	0,5
T15		2,0	1,0	-
T16	DM 80i79 IPRO	2,0	-	-
T17		2,0	0,5	0,5
T18		2,0	1,0	-
T19	BMX Única IPRO	2,0	-	-
T20		2,0	0,5	0,5
T21		2,0	1,0	-
T22	NEO 710 IPRO	2,0	-	-
T23		2,0	0,5	0,5
T24		2,0	1,0	-

Quanto à aplicação do produto testado (ZnSO<sub>4</sub>) no experimento foi utilizado o pulverizador costal à base de CO<sub>2</sub>, munido de pontas XR110.015, mantido à pressão de trabalho de 35 lb pol<sup>-2</sup>, resultando em volume de calda equivalente a 150 L ha<sup>-1</sup>. A dimensão das unidades experimentais eram de 4 metros de largura por 5 metros de comprimento, totalizando 20 m<sup>2</sup>. Na tabela 3 são apresentadas características dos cultivares testados no experimento como: grau de maturação, tecnologia, porcentagem de germinação e porcentual de vigor.

Tabela 3 - Grau de maturação, tecnologia, porcentual de germinação e porcentual de vigor dos cultivares de soja avaliados

<b>Cultivares</b>	<b>Grau de Maturação</b>	<b>Tecnologia</b>	<b>% Germinação</b>	<b>% Vigor</b>
BMX Foco IPRO	7,2	IPRO	97	85
BMX Desafio RR	7,4	RR	95	88
BMX Bônus IPRO	7,9	IPRO	94	83
DM 68i69 IPRO	6,8	IPRO	93	91
NEO 680 IPRO	6,8	IPRO	97	90
DM 80i79	8,0	IPRO	90	85
BMX Única IPRO	6,8	IPRO	90	87
NEO 710 IPRO	7,1	IPRO	97	90

As avaliações vegetativas realizadas no experimento foram: índice de clorofila *a* e *b* realizado no folíolo central do primeiro trifólio totalmente expandido do ápice da planta com auxílio do equipamento clorofiLOG CFL1030 (SPAD) aos 7 dias após a última aplicação, número total de nós (NN) e entrenós (NE) na haste principal, número de ramificações por planta (NR) em 5 exemplares de soja selecionadas em forma de Z, dentro da área útil da unidade experimental e teores de Zn presentes nas folhas coletadas após 7 dias da aplicação no estágio fenológico R5 (Zn F) segundo a metodologia de análise nítrico-perclórica da Embrapa solos (EMBRAPA, 2000).

Para as avaliações reprodutivas, foram avaliados: número de vagens de 1, 2, 3 e 4 grãos em 5 exemplares de soja, peso de cem grãos (P100G), produtividade final de grãos em kg ha<sup>-1</sup> (PROD) e teor de Zn presentes nos grãos (Zn G) segundo a metodologia de análise nítrico-perclórica da Embrapa solos (EMBRAPA, 2000).

### **Análise de digestão**

Na Figura 3, encontra-se esquematizado o fluxograma das atividades, que foram realizadas em laboratório, para a determinação dos teores de Zn foliar e nos grãos, desde o preparo da amostra, até os procedimentos analíticos propriamente ditos.

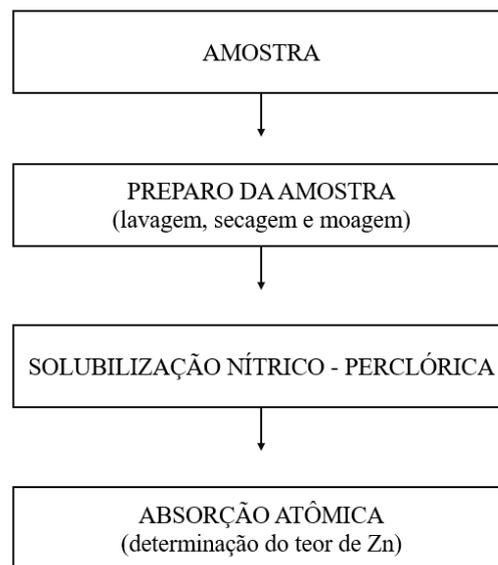


Figura 3 - Fluxograma da análise nítrico-perclórica para a determinação dos teores de Zn segundo Metodologia proposta por Embrapa solos (EMBRAPA, 2000).

As amostras de tecido vegetal (folhas e grãos) foram solubilizadas com ácidos nítrico (65%) e perclórico (70%) na proporção 3:1, e a determinação dos elementos realizada diretamente no extrato por espectrometria de absorção atômica (EMBRAPA, 2000).

### **Análise estatística**

O delineamento experimental em campo foi o de blocos casualizados (DBC), com esquema fatorial 3x8, sendo 3 momentos de aplicação foliar (controle, R3 e R3 + R5), 8 cultivares de soja (BMX Foco IPRO, BMX Desafio RR, BMX Bônus IPRO, DM 68i69 IPRO, NEO 680 IPRO, DM 80i79 IPRO, BMX Única IPRO e NEO 710 IPRO) com 4 repetições, totalizando 96 unidades amostrais.

Para interpretação de dados, foi realizada a análise de variância (ANAVA) pelo teste F a 5% de probabilidade, quando se obteve homogeneidade das variâncias residuais das análises individuais, realizou-se a análise conjunta. Resultados significativos nas médias das variáveis resultaram em teste de comparação de médias Scott - Knott utilizando-se o software estatístico SISVAR (FERREIRA, 2000; FERREIRA, 2011; FERREIRA 2019).

Em virtude dos cultivares analisados apresentarem diferentes grau de maturação, realizou-se uma segunda análise estatística, no qual os dados dos cultivares foram agrupados de acordo com o ciclo do mesmo, sendo divididos em ciclo precoce (NEO 680 IPRO, DM 68i69 IPRO e BMX Única IPRO), médio (BMX Foco IPRO, BMX Desafio IPRO e NEO 710 IPRO) e tardio (BMX Bônus IPRO e DM 80i89 IPRO). Sendo assim, a variável de relação direta com

a biofortificação, teor de Zn nos grãos, foi submetida a ANAVA, seguindo esquema fatorial 3x3, sendo 3 ciclos de cultivares de soja (precoce, médio e tardio), 3 momentos de aplicação do Zn (controle, R3 e R3 + R5).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve interação significativa entre o momento de aplicação do Zn (M.A.) com cultivares (C) para as variáveis clorofila B (Cl. B) e clorofila total (Cl. T). Para o fator isolado safra, ocorreram diferenças observadas para as clorofilas (Cl. A, Cl. B e Cl. T) e teor de Zn foliar (Teor de Zn F) (Tabela 4).

Tabela 4 - Resumo ANAVA (C.V.) para as avaliações de clorofila A (Cl. A), clorofila B (Cl. B), clorofila total (Cl. T), relação entre clorofila A e B (Cl. A/ Cl. B) e teor de Zn foliar (Teor Zn F)

Fator Variação	Cl. A	Cl. B	Cl. T	Teor Zn F mg kg <sup>-1</sup>
Momento de Aplicação (M.A.)	ns	ns	ns	ns
Cultivares (C.)	ns	ns	ns	ns
M.A * C.	ns	**	*	ns
Safra	**	**	**	*
M.A * Safra	ns	ns	ns	ns
C. * Safra	ns	ns	ns	ns
M.A * C. * Safra	ns	ns	ns	ns
<b>Coefficiente de Variação:</b>	17,96	14,98	15,71	16,74

ns – não significativo pelo teste f; \* significativo pelo teste f a nível de 5% de probabilidade; \*\* significativo pelo teste f a nível de 1% de probabilidade.

Ao analisar a influência do fator safra nos níveis de clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila total (como demonstrado na Figura 7), constatou-se que, os valores mais elevados foram observados durante a safra 2021/2022. Essa tendência pode ser atribuída, possivelmente, à ocorrência da ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) no experimento durante a safra 2022/2023. A ferrugem asiática, reduz os índices de clorofila da soja ao prejudicar o tecido foliar, reduzindo a área disponível para a fotossíntese, diminuindo consequentemente a eficiência fotossintética das plantas e causando a queda prematura das folhas (EINHARDT et al., 2020; PICANÇO et al., 2023; PRIMIANO; AMORIM, 2020), isso explica a diminuição

nos índices de clorofila nessa safra subsequente. Segundo Polizel et al., (2011) os índices de clorofila total são afetados pela severidade da ferrugem asiática, estes resultados corroboram com os resultados obtidos no presente estudo.

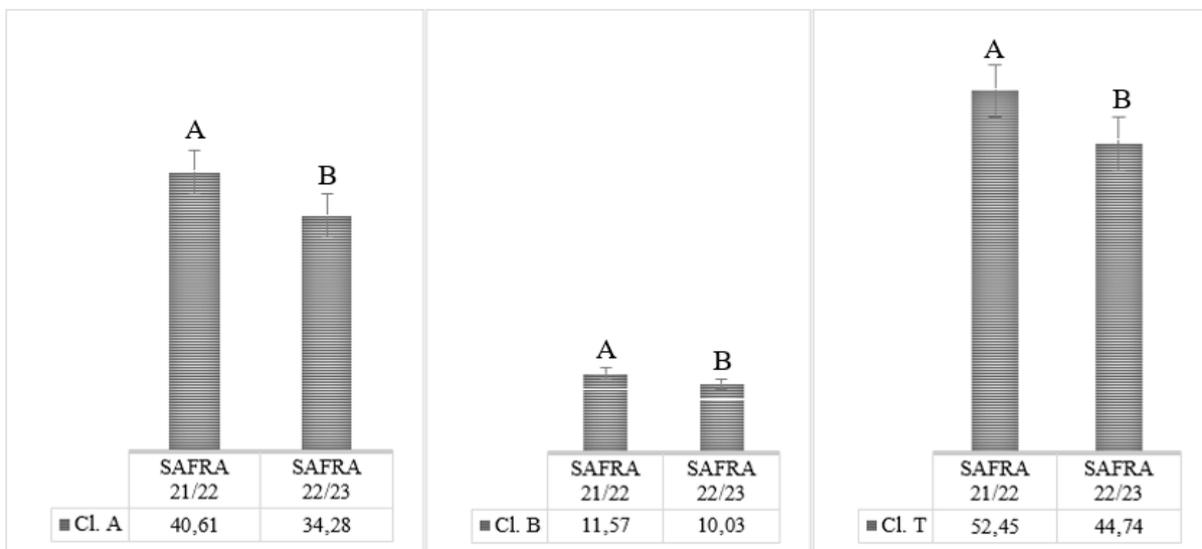


Figura 4 - Médias das avaliações de clorofila A (Cl. A), clorofila B (Cl. B) e clorofila total (Cl. T). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

A Tabela 5 apresenta a avaliação dos índices de clorofila *b* para diferentes momentos de aplicação e para as cultivares de soja. As cultivares BMX Bônus IPRO e BMX Única IPRO apresentaram os maiores valores para clorofila *b* no momento de aplicação em R3 e R3 + R5. No momento de aplicação controle, observou-se que as cultivares NEO 710 IPRO e NEO 680 IPRO apresentaram maiores índices de clorofila *b* em comparação com as outras cultivares. No momento de aplicação R3 os maiores índices de clorofila *b* ocorreram nas cultivares BMX Bônus IPRO, BMX Foco IPRO, NEO 710 IPRO e BMX Única IPRO. No momento de aplicação em R3 + R5 as cultivares BMX Única IPRO e NEO 680 IPRO apresentaram o melhor desempenho em relação ao teor de clorofila *b*.

Esses achados estão em consonância com o que a literatura já documentou sobre aplicação foliar de Zn, uma vez que o Zn desempenha um papel crítico, como um dos micronutrientes essenciais para as plantas (AÇIK; ÖNCAN SÜMER, 2023; SALEEM et al., 2023; UMAR et al., 2021). Ele exerce uma função fundamental na manutenção: da estabilidade das membranas celulares, na síntese de citocromos e clorofila, na promoção da fotossíntese e na preservação da integridade celular (MUMIVAND et al., 2021; RAI et al., 2021; NEKOUKHOU et al., 2022).

Tabela 5 - Médias da avaliação de clorofila B em função do momento de aplicação e cultivares de soja

C. / M.A	Controle	R3	R3 + R5
BMX Bônus IPRO	9,97bB	13,28aA	10,46aB
DM 80i79 IPRO	10,31aB	10,73aB	11,50aB
BMX Desafio RR	10,76aB	10,22aB	10,51aB
BMX Foco IPRO	10,95aB	12,10aA	10,35aB
NEO 710 IPRO	11,62aA	11,51aA	10,94aB
DM 68i69 IPRO	10,03aB	11,03aB	11,20aB
BMX Única IPRO	10,18bB	12,05aA	13,07aA
NEO 680 IPRO	12,57aA	9,79bB	11,88aA

Letras minúsculas comparam as aplicações (no sentido de linha) e letras maiúsculas comparam os cultivares (no sentido de coluna). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

Com relação a clorofila total, nota-se que as aplicações foliares de Zn apresentaram significância apenas para as cultivares BMX Bônus IPRO e BMX Única IPRO, que obtiveram maior índice de clorofila total quando aplicado Zn via foliar nos estádios R3 e R3 + R5, bem como, no índice de clorofila *b* a cultivar BMX Única IPRO obteve o mesmo comportamento em relação ao fornecimento de Zn (Tabela 6 e Tabela 5). Esse aumento do índice de clorofila total nas cultivares, é devido a melhor absorção do micronutriente, sendo necessário para diversos processos fisiológicos (WEISANY et al., 2013; THAPA et al., 2021), como: processos bioquímicos, respiração e fotossíntese, e na ativação de enzimas, resultando em um crescimento vigoroso das plantas de soja (BAGALE et al., 2021; PAWLOWSKI et al., 2019).

Não houve diferença entre as cultivares de soja para os tratamentos controle e aplicação de Zn no estádio R3 + R5. Porém, na aplicação em R3 as cultivares BMX Bônus IPRO, BMX Foco IPRO, NEO 710 IPRO, BMX Única IPRO e NEO 680 IPRO apresentaram os maiores índices de clorofila total (Tabela 6).

Tabela 6 - Médias da avaliação de clorofila total em função do momento de aplicação e cultivares soja

C. / M.A	Controle	R3	R3 + R5
BMX Bônus IPRO	44,92bA	54,47aA	45,16bA
DM 80i79 IPRO	49,21aA	43,32aB	47,51aA
BMX Desafio RR	46,43aA	45,82aB	48,61aA
BMX Foco IPRO	45,48aA	52,88aA	48,83aA
NEO 710 IPRO	51,72aA	52,53aA	46,47aA
DM 68i69 IPRO	45,25aA	44,56aB	48,41aA
BMX Única IPRO	43,45bA	54,16aA	53,90aA
NEO 680 IPRO	50,03aA	50,30aA	52,80aA

Letras minúsculas comparam as aplicações (no sentido de linha) e letras maiúsculas comparam os cultivares (no sentido de coluna). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

Para a variável Teor de Zn foliar houve diferença para o fator isolado safra, em que as cultivares apresentaram maior teor de Zn foliar na safra 2022/2023, em relação à safra 2021/2022 (Figura 5), provavelmente devido a precipitação deficitária na safra 2021/2022 (Figura 1 e Figura 2), já que o déficit hídrico na cultura da soja diminui a absorção de nutrientes via aplicação foliar (MARTÍNEZ CUESTA et al., 2023; PURUCKER et al., 2020).

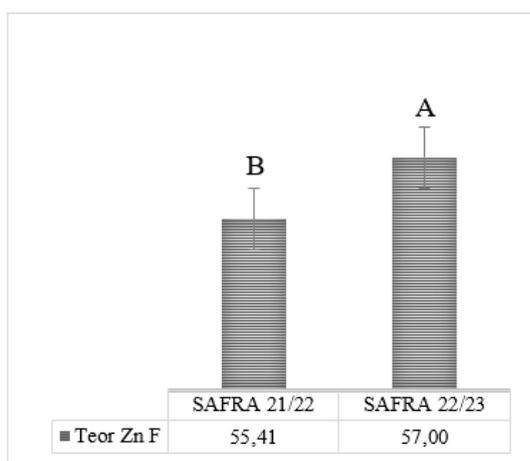


Figura 5 - Médias da avaliação de teor de Zn foliar ( $\text{mg kg}^{-1}$ ). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

A análise de variância revelou interação entre os momentos de aplicação e as cultivares de soja. para as variáveis número de nós e número de entrenós. Para o fator isolado C. houve diferenças para: o número de nós, número de entrenós e número de ramificações, apenas o efeito sobre o número de ramificações foi investigado, já que número de nós e número de

entrenós já era investigado, dentro da interação M.A x C. Houve diferenças para a interação M.A x Safra para a variável número de ramificações (Tabela 7).

Tabela 7. Resumo ANAVA (C.V.) para as avaliações de número de nós (NÓS), número de entrenós (E. NÓS) e número de ramificações (RAMIF)

Fator de Variação	NÓS	E. NÓS	RAMIF.
	n°		
Momento de Aplicação (M.A.)	ns	ns	ns
Cultivares (C.)	**	**	*
M.A * C	*	*	ns
Safra	ns	ns	**
M.A * Safra	ns	ns	*
C. * Safra	ns	ns	ns
M.A * C * Safra	ns	ns	ns
<b>Coefficiente de Variação</b>	10,25	11,03	31,43

ns – não significativo pelo teste f; \* significativo pelo teste f a nível de 5% de probabilidade; \*\* significativo pelo teste f a nível de 1% de probabilidade.

Quando desdobrado o M.A dentro de cada cultivar para a variável número de nós, observou-se que, apenas a cultivar BMX Bônus IPRO foi afetado significativamente pelo momento de aplicação, apresentando os maiores valores na aplicação em R3 + R5. Quanto ao desdobramento de cada C. dentro de cada M.A para o número de nós, a cultivar DM 80i79 IPRO apresentou os maiores valores no M.A em R3 e no controle. Em R3 + R5 as cultivares BMX Bônus IPRO, DM 80i79 IPRO, BMX Desafio RR e BMX Foco IPRO apresentaram os maiores valores (Tabela 8).

As diferenças observadas para aplicação foliar de Zn nos estádios R3 + R5 se deve ao fato de que a duração do período crítico de determinação do número de sementes da soja ocorrer entre os estádios R3 e R5, o que varia entre ambientes como resultado de diferenças no fotoperíodo e temperatura e suas interações com o grupo de maturidade da cultivar (EGLI, 2017; MONZON 2021). A adição via foliar do Zn melhora o crescimento da cultura, como estes cultivares de soja tem hábito indeterminado, a planta tende a desenvolver melhor o número de nós para produzir mais sementes (BASU et al., 2023; GRASSINI et al., 2021; KUZBAKOVA et al., 2022).

Tabela 8 - Médias da avaliação de número de nós em função das cultivares de soja e momento de aplicação

C. / M.A	Controle	R3	R3 + R5
BMX Bônus IPRO	15,75bB	16,12bB	17,75aA
DM 80i79 IPRO	19,37aA	18,25aA	16,75aA
BMX Desafio RR	17,12aB	16,62aB	17,50aA
BMX Foco IPRO	17,12aB	16,50aB	18,50aA
NEO 710 IPRO	16,50aB	16,25aB	15,37aB
DM 68i69 IPRO	16,25aB	15,25aB	15,87aB
BMX Única IPRO	15,75aB	16,37aB	15,00aB
NEO 680 IPRO	16,62aB	15,50aB	15,62aB

Letras minúsculas comparam as aplicações (no sentido de linha) e letras maiúsculas comparam os cultivares (no sentido de coluna). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

Para o M.A dentro de cada C. observou-se que, a cultivar BMX Bônus IPRO apresentou os maiores valores de número de entrenós no M.A R3 + R5, enquanto que para a cultivar DM 80i79 IPRO o número de entrenós foi maior nos tratamentos controle e aplicação em R3 em comparação com o M.A R3 + R5. A única cultivar que se diferiu das demais no M.A controle e R3 foi a cultivar DM 80i79 IPRO. No M.A R3 + R5 as C. que apresentaram os melhores valores foram as cultivares BMX Bônus IPRO, DM 80i79 IPRO, BMX Desafio RR e BMX Foco IPRO (Tabela 9).

O aumento do número de entrenós devido a aplicação foliar nos estádios R3 + R5 se deve a aplicação nestes dois momentos críticos proporcionar a planta, uma maior quantidade de Zn disponível, uma vez que a deficiência de Zn encurta os entrenós e atrofia o crescimento das folhas, diminuindo o rendimento e a produtividade da soja (BAGALE et al., 2021; FAHAD et al., 2022; RAHMAN et al., 2020).

Tabela 9 - Médias da avaliação de número de entrenós em função das cultivares de soja e momento de aplicação

C. / M.A	Controle	R3	R3 + R5
BMX Bônus IPRO	14,75bB	15,00bB	16,75aA
DM 80i79 IPRO	18,37aA	17,25aA	15,75bA
BMX Desafio RR	16,12aB	15,62aB	16,50aA
BMX Foco IPRO	16,12aB	15,50aB	17,50aA
NEO 710 IPRO	15,59aB	15,25aB	14,37aB
DM 68i69 IPRO	15,25aB	14,25aB	14,75aB
BMX Única IPRO	14,75aB	15,37aB	14,00aB
NEO 680 IPRO	15,62aB	14,50aB	14,62aB

Letras minúsculas comparam as aplicações (no sentido de linha) e letras maiúsculas comparam os cultivares (no sentido de coluna). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

O número de ramificações na safra 2021/2022 foi maior no M.A R3 + R5, enquanto que na safra 2022/2023 não houve diferenças para os M.A. Para o M.A controle e R3, a safra 2022/2023 apresentou os maiores valores, não tendo diferença entre as duas safras para o M.A R3 + R5 (Tabela 10).

As diferenças observadas para os momentos de aplicação na safra 2021/2022 e as diferenças observadas entre as safras 2021/2022 e 2022/2023 para o número de ramificações se devem ao déficit hídrico que houve na safra 2021/2022 (Figura 2). A aplicação foliar de Zn melhora indicadores: fisiológicos, biométricos e produtividade da soja sob estresse de déficit hídrico (ALIJANI et al., 2022; JOORABI et al., 2020; VAGHAR et al., 2020), isso é observado na safra 2021/2022, em que sob déficit hídrico a aplicação foliar de Zn no estágio R3 + R5 aumentou o número de ramificações das plantas.

Tabela 10 - Médias da avaliação do número de ramificações em função da safra e momento de aplicação

Safra / M.A	Controle	R3	R3 + R5
2021/2022	13,12bB	13,40bB	16,50aA
2022/2023	16,25aA	16,68aA	15,78aA

Letras minúsculas comparam as aplicações (no sentido de linha) e letras maiúsculas comparam as safras (no sentido de coluna). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

Para a variável número de ramificações observou-se que, em função das cultivares de soja, a BMX Única IPRO apresentou os menores valores, em comparação com as demais cultivares (Figura 6). Isto provavelmente se deve a ser um genótipo que tem como característica a baixa ramificação (BRASMAX, 2023).

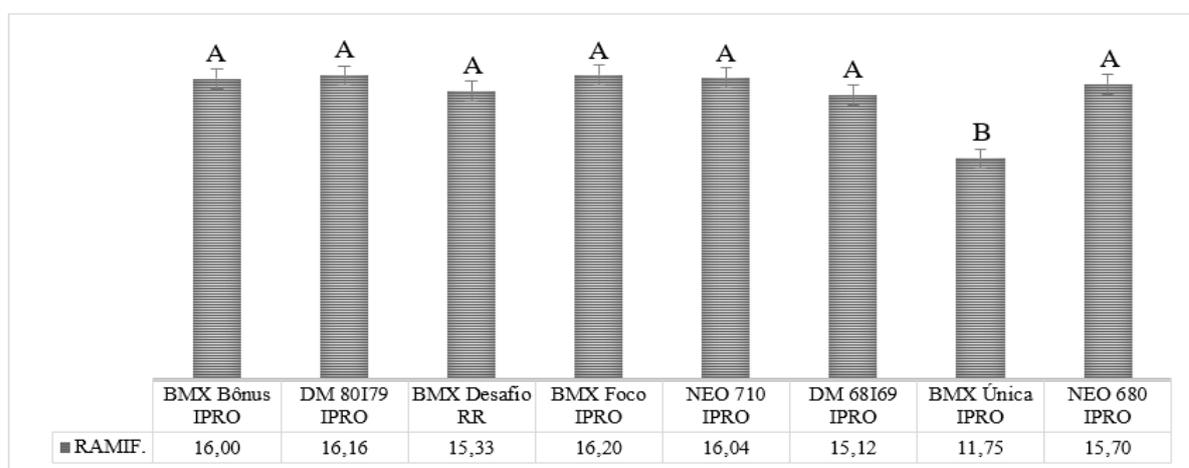


Figura 6 - Médias da avaliação de ramificações em função das cultivares de soja. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

A análise de variância evidenciou que não há diferenças significativas para as variáveis número de vagens de 1 grãos e número de vagens totais, houve significância para o fator C. no número de vagens com 2, 3 e 4 grãos. Houve interação entre M.A \* C. para o número de vagens de 2 grãos, portanto, não foi realizada a análise isolada do fator C. para essa variável, uma vez que seu efeito já está contido na interação (Tabela 11).

Tabela 11 - Resumo ANAVA (C.V.) para as avaliações de vagens de 1, 2, 3 e 4 grãos e vagens totais

Fator de Variação	V. 1G.	V. 2G.	V. 3G.	V. 4G.	V. T.
	n°				
Momento de Aplicação (M.A.)	ns	ns	ns	ns	ns
Cultivares (C.)	ns	**	**	**	ns
M.A * C.	ns	*	ns	ns	ns
Safra	ns	ns	ns	ns	ns
M.A * Safra	ns	ns	ns	ns	ns
C. * Safra	ns	ns	ns	ns	ns
M.A * C. * Safra	ns	ns	ns	ns	ns
<b>Coefficiente de Variação:</b>	90,47	50,99	49,21	100,94	35,82

ns – não significativo pelo teste f; \* significativo pelo teste f a nível de 5% de probabilidade; \*\* significativo pelo teste f a nível de 1% de probabilidade.

A cultivar BMX Bônus IPRO demonstrou os valores mais elevados de vagens com 2 grãos, tanto no momento de aplicação R3, quanto no momento de aplicação R3 + R5. Enquanto isso, a cultivar BMX Única IPRO obteve os valores mais altos no momento de aplicação R3 + R5. Não foram observadas diferenças significativas entre as cultivares no momento de aplicação controle. No entanto, no momento de aplicação R3, as cultivares BMX Bônus IPRO, DM 80i79 IPRO e BMX Desafio RR exibiram maior quantidade de vagens contendo 2 grãos. Já no momento de aplicação R3 + R5, as cultivares BMX Bônus IPRO e DM 80i79 IPRO superaram as demais em termos de desempenho (Tabela 12).

Para as cultivares BMX Bônus IPRO, DM 80i79 IPRO e BMX Desafio RR, observou-se que, aplicações com Zn em cultivares de soja tem efeitos no aumento do número de vagens de 2 grãos. Assim como, relatado por De Oliveira et al. (2017), sendo comum diferentes cultivares de soja diferirem na capacidade de absorção de Zn.

Tabela 12 - Médias da avaliação de vagens de 2 grãos em função das cultivares de soja e momento de aplicação

C. / M.A	Controle	R3	R3 + R5
BMX Bônus IPRO	119,62bA	211,50aA	224,25aA
DM 80i79 IPRO	134,75aA	166,25aA	175,00aA
BMX Desafio RR	106,25aA	160,12aA	104,12aB
BMX Foco IPRO	146,87aA	111,50aB	142,25aB
NEO 710 IPRO	117,50aA	92,62aB	123,25aB
DM 68i69 IPRO	124,87aA	90,87aB	141,00aB
BMX Única IPRO	84,50bA	92,00bB	156,25aB
NEO 680 IPRO	146,62aA	83,12aB	102,37aB

Letras minúsculas comparam as aplicações (no sentido de linha) e letras maiúsculas comparam os cultivares (no sentido de coluna). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

Para o número de vagens de 3 grãos as cultivares: DM 80i79 IPRO, BMX Desafio RR, BMX Foco IPRO, NEO 710 IPRO, DM 68i69 IPRO e NEO 680 IPRO apresentaram os maiores valores quando comparadas com as cultivares: BMX Bônus IPRO e BMX Única IPRO (Figura 7).

Não houve diferenças para o momento de aplicação foliar de Zn, as diferenças observadas foram apenas entre as cultivares sendo que: BMX Única IPRO e BMX Bônus IPRO apresentaram os menores valores para o número de vagens de 3 grãos, o que é atribuído ao material genético, já que a cultivar BMX Bônus IPRO tem ramificação média e a cultivar BMX Única IPRO tem ramificação baixa e superprecocidade (BRASMAX, 2023).

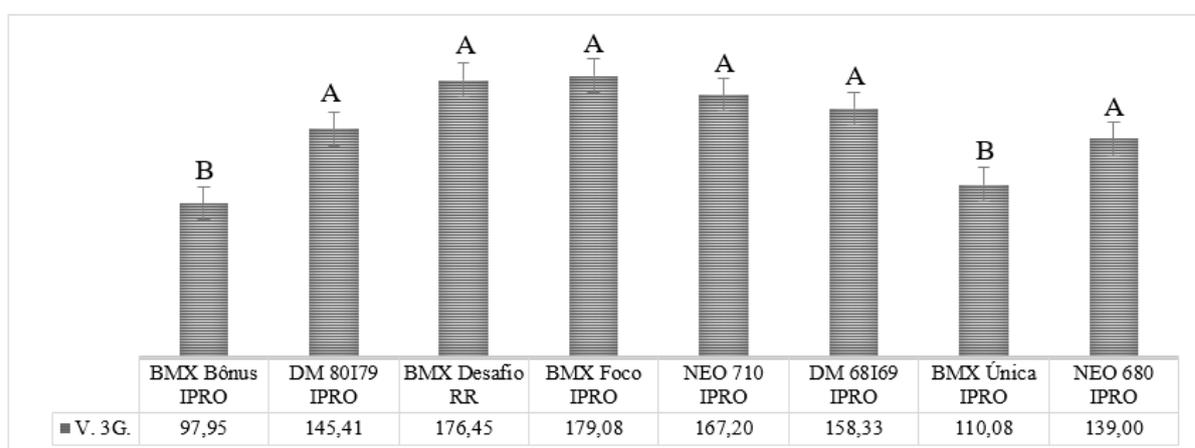


Figura 7 - Médias da avaliação de vagens de 3 grãos em função das cultivares de soja. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

O número de vagens de 4 grãos foi maior nas cultivares: BMX Desafio RR, DM 68i69 IPRO e NEO 680 IPRO. Os menores valores estão nas cultivares: BMX Bônus IPRO, DM 80i79 IPRO, BMX Foco IPRO, NEO 710 IPRO e BMX Única IPRO (Figura 8).

O número de vagens de 4 grãos é influenciado por uma combinação de fatores: genéticos, ambientais e de manejo, e muitos produtores buscam adotar práticas e selecionar cultivares que maximizem essa característica da soja, já que quanto mais grãos, maior a produtividade (EBONE et al., 2020; LU et al., 2022; PARAGINSKI et al., 2022).

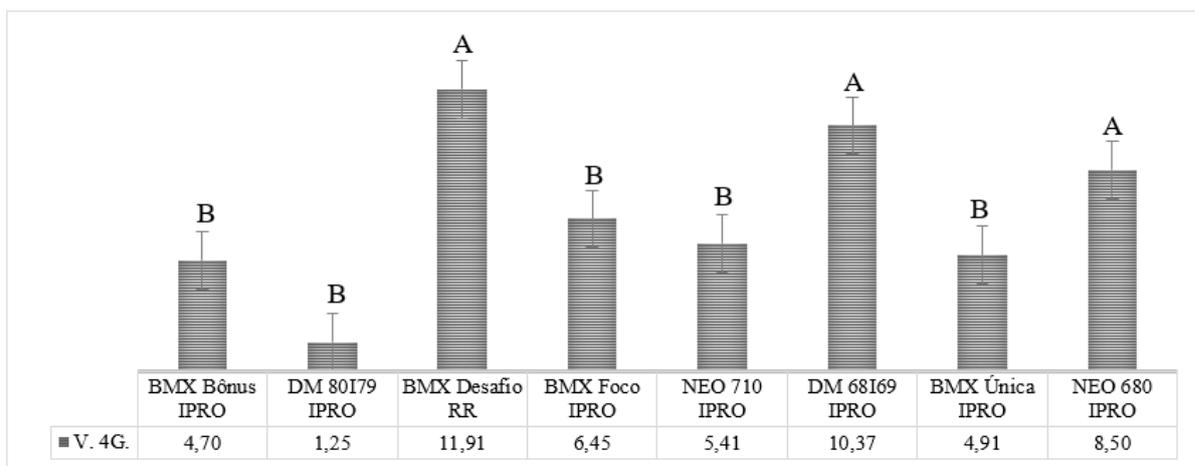


Figura 8 - Médias da avaliação e vagens de 4 grãos em função das cultivares de soja. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

Na análise de variância observou-se que não houve diferença para o número de grãos. Para a variável peso de 100 grãos houve diferenças para o fator safra e para a interação C. \* Safra, o efeito isolado da C. foi analisado dentro da interação. Para a produtividade houve significância para o fator isolado M.A. e Safra e para a interação C. \* Safra, o fator isolado C. foi analisado na interação. Para o teor de Zn nos grãos houve diferença para o fator isolado M.A (Tabela 13).

Tabela 13 - Resumo ANAVA (C. V.) para as avaliações de número de grãos (GRÃOS), peso de 100 grãos (P100G), produtividade (PROD) e teor de Zn no grão (Teor Zn G)

Fator de Variação	GRÃOS	P100G	PROD	Teor Zn G
	n°	g	kg ha <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>
Momento de Aplicação (M.A.)	ns	ns	*	*
Cultivares (C.)	ns	**	*	ns
M.A * C.	ns	ns	ns	ns
Safra	ns	**	**	ns
M.A * Safra	ns	ns	ns	ns
C. * Safra	ns	**	*	ns
M.A * C. * Safra	ns	ns	ns	ns
<b>Coefficiente de Variação:</b>	37,27	8,75	17,60	9,64

ns – não significativo pelo teste f; \* significativo pelo teste f a nível de 5% de probabilidade; \*\* significativo pelo teste f a nível de 1% de probabilidade.

Avaliando a interação cultivares de soja \* safra para a variável peso de 100 grãos observou-se que todas as cultivares tiveram maior peso de 100 grão na safra 2021/2022. Para a safra 2021/2022 os maiores valores de peso de 100 grãos foram observados para as cultivares: BMX Bônus IPRO, NEO 710 IPRO, DM 68i69 IPRO e BMX Única IPRO. Na SAFRA 2022/2023 o peso de 100 grãos foi maior nas cultivares: BMX Bônus IPRO, BMX Desafio RR, NEO 710 IPRO, DM 68i69 IPRO, BMX Única IPRO e NEO 680 IPRO, as cultivares que apresentaram os menores valores foram: DM 80i79 IPRO e BMX Foco IPRO (Tabela 14).

Devido ao aumento da precipitação, durante a safra 2022/2023 (Figura 2), houve maior molhamento foliar, o que propiciou o surgimento do fungo da Ferrugem Asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) na área experimental (CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, 2023). Isso resultou na redução do peso de 100 grãos por planta e, conseqüentemente, na diminuição do peso de 100 grãos, em comparação com a safra 2021/2022.

Tabela 14 - Médias da avaliação de peso de 100 grãos em função das cultivares de soja \* safra

Cultivares / Safra	SAFRA 2021/2022	SAFRA 2022/2023
BMX Bônus IPRO	17,99aA	16,67bA
DM 80i79 IPRO	17,40aB	13,72bB
BMX Desafio RR	17,05aB	15,24bA
BMX Foco IPRO	16,24aB	14,63bB
NEO 710 IPRO	18,76aA	15,84bA
DM 68i69 IPRO	18,12aA	15,63bA
BMX Única IPRO	19,07aA	15,88bA
NEO 680 IPRO	16,12aB	15,80bA

Letras minúsculas comparam as aplicações (no sentido de linha) e letras maiúsculas comparam os cultivares (no sentido de coluna). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

Analisando o fator M.A., observou-se que a produtividade e o teor de Zn no grão foram maiores nas aplicações foliares de Zn nos estádios R3 + R5 em comparação com o controle e com a aplicação apenas no estágio R3. Não foram encontradas diferenças significativas entre o controle e a aplicação no estágio R3 (Figura 9).

A aplicação foliar de Zn nos estádios R3 + R5 se mostrou ideal para o acréscimo de Zn nos grãos de soja, aumentando o teor de Zn em 2,64 mg kg<sup>-1</sup> e a produtividade em 318 kg ha<sup>-1</sup>. Esta técnica de manejo nutricional se mostrou ideal para os agricultores que desejam agregar valor ao seu produto, já que alimentos biofortificados possuem maior atratividade no mercado (LI et al., 2022; WALTON et al., 2023; WELK et al., 2021), além de ser ideal para a nutrição humana, em razão do Zn, ser um micronutriente essencial aos seres humanos e animais, desempenhando papéis importantes nos processos biológicos, incluindo: o sistema imunológico, a função cognitiva, o crescimento e desenvolvimento (CHASAPIS et al., 2020; HUSSAIN et al., 2022; OZTURK et al., 2023).

No entanto, o teor observado foi de 37,7 mg kg<sup>-1</sup> mostrando que apesar de ter ocorrido um acréscimo no teor de Zn, nos grãos de soja, o mesmo não excedeu a concentração prevista pela a cultura (MALAVOLTA, 2006; ROSSETTO et al., 2010).

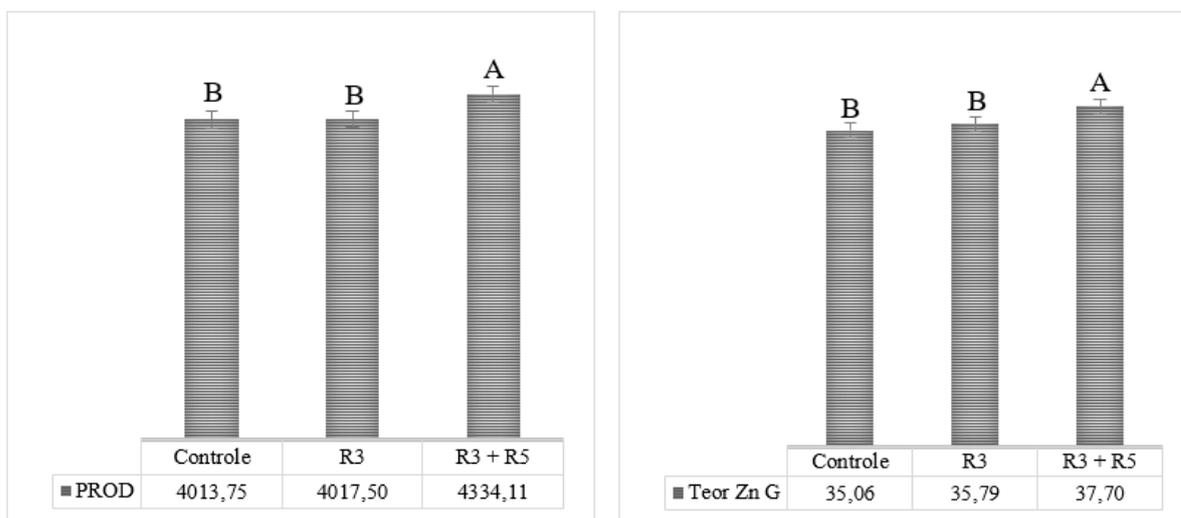


Figura 9 - Médias das avaliações de produtividade (kg ha<sup>-1</sup>) e teor de Zn nos grãos (mg kg<sup>-1</sup>) em função da modalidade de aplicação. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

Na interação entre as cultivares de soja durante a safra, observou-se que, todas as variedades, com exceção da cultivar NEO 680 IPRO, apresentaram os maiores valores na safra 2021/2022, em comparação com a safra 2022/23. Na safra 2021/2022 não houve diferença entre

as cultivares de soja, o mesmo não foi observado na safra 2022/2023 em que as cultivares: BMX Foco IPRO, BMX Única IPRO e NEO 680 IPRO tiveram melhor desempenho, que as demais (Tabela 15).

As diferenças observadas entre as safras e entre as cultivares na safra 2022/2023 foram causadas devido a ocorrência da Ferrugem Asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) no ensaio. As perdas de produtividade da soja na safra 2022/2023 foram de 792 kg ha<sup>-1</sup> (13,2 sc ha<sup>-1</sup>) (CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM, 2023).

Tabela 15 - Médias da avaliação de produtividade (kg ha<sup>-1</sup>) em função das cultivares de soja \* safra

Cultivares / Safra	SAFRA 2021/22	SAFRA 2022/23
BMX Bônus IPRO	4582,80aA	3823,20bB
DM 80i79 IPRO	4176,00aA	3293,40bB
BMX Desafio RR	4304,40aA	3568,20bB
BMX Foco IPRO	4377,00aA	3805,80bA
NEO 710 IPRO	4597,20aA	3718,80bB
DM 68i69 IPRO	4536,00aA	3526,80bB
BMX Única IPRO	4601,40aA	4047,00bA
NEO 680 IPRO	4312,20aA	4673,40aA

Letras minúsculas comparam as aplicações (no sentido de linha) e letras maiúsculas comparam os cultivares (no sentido de coluna). Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

Para o maior entendimento dos dados obtidos no presente trabalho, em relação a biofortificação (Teor de Zn nos grãos) foi realizada uma análise conjunta levando em consideração: os ciclos das cultivares, momento de aplicação e safras. Visando que este resultado é essencial para definição do grupo de cultivares a serem utilizadas em programas de biofortificação.

Na análise de variância observou-se efeito significativo em relação ao teor de Zn nos grãos, sendo este observado nos fatores de variação, momento de aplicação e ciclo das cultivares, porém não foi observado efeito significativo nas demais variações (Tabela 16), com isso nota-se a importância da escolha da cultivar para ser utilizada, nos programas de biofortificação com Zn.

Tabela 16 - Resumo ANAVA (C. V.) para as avaliações de número de grãos (GRÃOS), peso de 100 grãos (P100G), produtividade (PROD) e teor de Zn no grão (Teor Zn G)

Fator de Variação	Teor Zn G mg kg <sup>-1</sup>
Momento de Aplicação (M.A.)	**
Ciclo	*
M.A * Ciclo	ns
Safra	ns
M.A * Safra	ns
Ciclo * Safra	ns
M.A * Ciclo * Safra	ns
<b>Coefficiente de Variação:</b>	<b>10,05</b>

ns – não significativo pelo teste f; \* significativo pelo teste f a nível de 5% de probabilidade; \*\* significativo pelo teste f a nível de 1% de probabilidade.

Analisando o fator ciclo, observou-se que, o teor de Zn nos grãos foi influenciado pelo mesmo, no qual o ciclo médio (Grau de maturação 7.1, 7.2 e 7.4) e tardio (Grau de maturação 7.9 e 8.0) mostraram-se mais eficientes no acúmulo de Zn no grão, em relação ao ciclo precoce (Grau de maturação 6.8) (Figura 10).

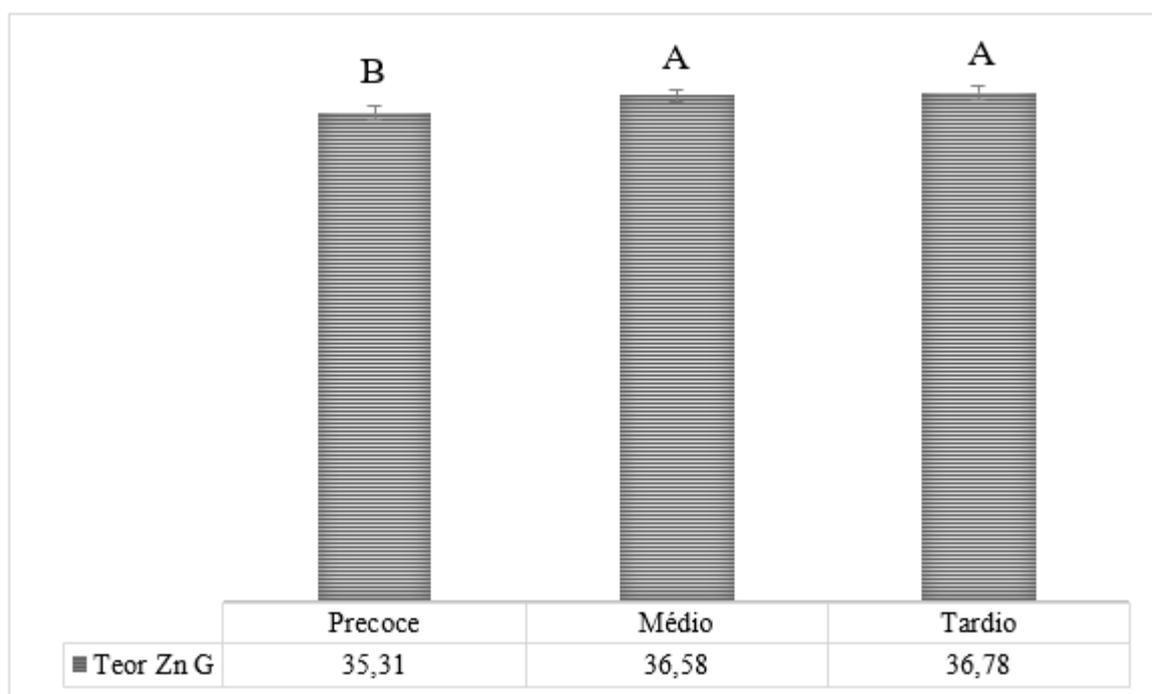


Figura 10 - Média da avaliação de teor de Zn nos grãos (mg kg<sup>-1</sup>) em função dos ciclos das cultivares. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ).

Em suma, este estudo enfatiza a importância de escolher a cultivar de soja apropriada e o momento adequado para aplicar Zn, visando otimizar: a absorção de nutrientes, o desenvolvimento da planta e, conseqüentemente, a produtividade. Notavelmente, as cultivares BMX Bônus IPRO e BMX Única IPRO demonstraram grande potencial em resposta à aplicação de Zn foliar, especialmente nos estágios R3 e R3 + R5. No geral, essas variedades apresentam diversas vantagens, como: teores mais elevados de clorofila B, capacidade de resposta à suplementação de Zn, maior número de nós e entrenós, produção de vagens com 2 grãos e peso de 100 grãos superior. Isso sugere que os produtores de soja em busca de maximizar, tanto a quantidade, quanto a qualidade de sua colheita podem encontrar nessas cultivares escolhas promissoras. Além disso, a safra desempenhou um papel significativo nos resultados, enfatizando a necessidade de considerar as condições climáticas ao planejar a aplicação de Zn em diferentes safras. Essas descobertas resultam em implicações importantes para a otimização do manejo nutricional da soja, visando melhorar a produtividade e a qualidade das safras.

## **5 CONCLUSÕES**

A aplicação de Zn em momentos específicos, como R3 e R3 + R5, exerceu um impacto positivo sobre: o teor de clorofila B, o número de nós, a quantidade de entrenós, a formação de vagens com 2 grãos e o peso de 100 grãos nas plantas de soja das variedades BMX Bônus IPRO e BMX Única IPRO, resultando em um crescimento mais robusto e saudável.

A variedade de soja BMX Única IPRO demonstrou menor ramificação, em comparação com outras variedades, devido às suas características genéticas.

A aplicação foliar complementar de Zn nos estágios R3 + R5 mostrou-se eficaz na biofortificação dos grãos de soja, resultando em um aumento significativo do teor de Zn nos grãos e da produtividade, o que é benéfico para os produtores, quanto à agregação de valor aos grãos.

As cultivares de ciclo precoce (Grau de maturação 6.8) não demonstraram eficiência no acúmulo de Zn nos grãos, portanto não sendo uma boa opção nos programas de biofortificação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRANDH - AÇÃO BRASILEIRA PELA NUTRIÇÃO E DIREITOS HUMANOS. **O Direito Humano à Alimentação Adequada e o Sistema Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional**. Brasília, 2013.

AÇIK, A.; ÖNCAN SÜMER, F. Foliar Application of Zinc Improves Agronomical and Quality Parameters and Biofortification of Cowpea (*Vigna sinensis*) under Deficit Irrigation. **Agronomy**, v. 13, n. 4, p. 1021, 2023.

ALIJANI, A.M.; DANESHIAN, J.; SAYFZADEH, S.; MADANI, H.; SHIRANI RAD, A.H. Effect of microelements on some physiological traits and yield of soybean (*Glycine max* L.) under water deficit stress conditions. **Iranian Journal of Plant Physiology**, v. 12, n. 2, p. 4089-4098, 2022.

BAGALE, S. Nutrient management for soybean crops. **International Journal of Agronomy**, v. 2021, p. 1-10, 2021.

BAGALE, S. Nutrient management for soybean crops. **International Journal of Agronomy**, v. 2021, p. 1-10, 2021.

BASU, U.; PARIDA, S.K. The developmental dynamics in cool season legumes with focus on chickpea. **Plant Molecular Biology**, v. 111, n. 6, p. 473-491, 2023.

BORKERT, C. M. Micronutrientes na planta. In: BÜLL, L. T.; ROSOLEM, C. A. **Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1986. p. 309-329.

BOUIS, H. E.; WELCH, R. M. Biofortification—a sustainable agricultural strategy for reducing micronutrient malnutrition in the global south. **Crop Science**, v. 50, n. Supplement\_1, p. S-20-S-32, 2010.

BRASMAX. BMX Única IPRO. 2023. Disponível em: <https://www.brasmaxgenetica.com.br/cultivar-regiao-cerrado/> Acesso em: 25 Agosto. 2023.

CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? **Plant and Soil**, Oklahoma, v. 302, n. 1, p. 1-17, 2008

CAKMAK, I. Plant nutrition research: priorities to meet human needs for food in sustainable ways. **Plant and Soil**, v. 247, p. 3-24, 2002.

CAKMAK, I. **Proceedings of the International Fertiliser Society 552. Identification and Correction of Widespread Zinc Deficiency in Turkey—A Success Story**, IFS, York, UK, 2004.

CAKMAK, I.; PFEIFFER, W. H.; MCCLAFFERTY, B. Biofortification of durum wheat with zinc and iron. **Cereal Chemistry Journal**, San Diego, v. 87, n. 1, p. 10-20, 2010.

CAMARGO, O. A. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, p. 244, 1994.

CANTARELLA, H. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: IPNI, 2017.

CARRÃO-PANIZZI, M.C.; KITAMURA, K.; BELÉIA, A.D.P.; OLIVEIRA, M.C.N. Influence of growth locations on isoflavone contents in brazilian soybean cultivars. **Breeding Science**, v. 48, p. 409-413, 1998.

CARRÃO-PANIZZI, M.C.; MANDARINO, J.M.G. **Soja: potencial de uso na dieta brasileira**. Londrina: Embrapa-CNPSO, 1998.

CESB. 2016. **Comitê Estratégico de Soja Brasil**. Disponível em: <<http://www.cesbrasil.org.br/>>. Acesso em: 12/05/2021.

CHASAPIS, C.T.; NTOUPA, P.S.A.; SPILIOPOULOU, C.A.; STEFANIDOU, M.E. Recent aspects of the effects of zinc on human health. **Archives of toxicology**, v. 94, p. 1443-1460, 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Evolução dos custos da soja no Brasil**. Brasília: Conab, 2016.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 3, terceiro levantamento, dez. 2022.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 12, décimo segundo levantamento, set. 2023.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento de Safra Brasileira de Grãos**. Brasília, DF, v.4, Safra 2016/2017, n.6, Sexto levantamento, mar. 2017.

CONSÓRCIO ANTIFERRUGEM. 2023. Disponível em: ><http://www.consorcioantiferrugem.net/>>. Acesso em: 25 ago. 2023.

COUTINHO, E. L. M.; VELINE, E. D.; LEMUS ERASMO, E. A.; FLOREZ RONCANCIO, V. J.; MARTINS, D. Resposta do milho pipoca à adubação com Zn em condições de casa de vegetação. **Ciência Agrônômica, Jaboticabal**, v. 7, p. 31-36, 1992.

DA SILVA, D.F.; CIPRIANO, P.E.; DE SOUZA, R.R.; SIUEIA, M.; FAQUIN, V.; DE SOUZA, M.L.S.; GUILHERME, L.R.G. Biofortification with selenium and implications in the absorption of macronutrients in *Raphanus sativus* L. **Journal of food composition and analysis**, v. 86, p. 103382, 2020.

DAI, H.; WEI, S.; TWARDOWSKA, I. Biofortification of soybean (*Glycine max* L.) with Se and Zn, and enhancing its physiological functions by spiking these elements to soil during flowering phase. **Science of the Total Environment**, 2020.

DALL'AGNOL, A.; et al. **O complexo agroindustrial da soja brasileira**. Circular técnica. Londrina: EMBRAPA, 2007.

DE OLIVEIRA, N.T.; DE REZENDE, P.M.; DE FATIMA PICCOLO BARCELOS, M.; BRUZI, A.T. Zinc biofortification strategies in food-type soybean cultivars. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 1, p. 11-16, 2019.

EBONE, L.A.; CAVERZAN, A.; TAGLIARI, A.; CHIOMENTO, J.L.T.; SILVEIRA, D.C.; CHAVARRIA, G. Soybean seed vigor: uniformity and growth as key factors to improve yield. **Agronomy**, v. 10, n. 4, p. 545, 2020.

EGLI, D.B. **Seed biology and yield of grain crops**. CABI, 2017.

EINHARDT, A. M.; FERREIRA, S.; SOUZA, G. M.; MOCHKO, A. C.; RODRIGUES, F. A. Cellular oxidative damage and impairment on the photosynthetic apparatus caused by Asian Soybean Rust on soybeans are alleviated by nickel. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 42, p. 1-13, 2020.

EMBRAPA 2004, CARRIJO, O.A.; SOUSA, R.B.; MAROUELLI, W.A.; ANDRADE R J. Circular Técnica 32: **Fertirrigação de hortaliças**. Brasília: EMBRAPA, 2004. 13p

FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C.; JONES, C. A. **Growth and Mineral Nutrition of Field Crops**, CRC Press, Boca Raton, Fla, USA, 3rd edition, 2011.

FAHAD, S.; ADNAN, M.; SAUD, S. (Ed.). **Improvement of plant production in the era of climate change**. CRC Press, 2022.

FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **The State of Food Security and Nutrition in the World 2020**. ROMA, 2020.

FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **The State of Food Security and Nutrition in the World 2021**. ROMA, 2021.

FAO - ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **The role of soybean in fighting world hunger**. FAO Commodities and Trade Division, Basic Foodstuffs Service. Brasil, 2004.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, nov./dez. 2011.

FERREIRA, D. F. SISVAR: Um sistema de análise computadorizada para projetos do tipo split plot de efeitos fixos. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37 n. 4, p. 529–535, 2019.

FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255- 258.

FRAGA, J.A.A.; DA SILVA V., Danielle Santiago. A relação entre a desnutrição e o desenvolvimento infantil. **Revista da Associação Brasileira de Nutrição-RASBRAN**, v. 4, n. 1, p. 59-62, 2012.

FRÓNA, D.; SZENDERÁK, J.; HARANGI-RÁKOS, M. The challenge of feeding the world. **Sustainability**, v. 11, n. 20, p. 5816, 2019.

GALRÃO, E. Z.; MESQUITA FILHO, M. V. Efeito de fontes de Zn na produção de matéria seca do milho em um solo sob cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 5, p. 167-70, 1981.

GRAHAM, R.D. Biofortification: a global challenge program. **International Rice Research Notes**, v. 28, n. 1, p. 1-1, 2003.

GRAHAM, R.D., et al. Nutritious subsistence food systems. **Advances in Agronomy**, v.92, p. 1-74, 2007.

GRAHAM, R.D.; WELCH, R.M.; BOUIS, H.E. Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: principles, perspectives and knowledge gaps. **Advances in agronomy**, v. 70, p. 77-142, 2001.

GRASSINI, P.; LA MENZA, N.C.; EDREIRA, J.I.R.; MONZÓN, J.P.; TENORIO, F.A.; SPECHT, J.E. Soybean. In: **Crop physiology case histories for major crops**. Academic Press, 2021. p. 282-319.

HANSEL, F. D.; OLIVEIRA, M. L. Importância dos micronutrientes na cultura da soja no Brasil. **Informações Agronômicas**, n.153, p.1-8, 2016.

HUSSAIN, A.; JIANG, W.; WANG, X.; SHAHID, S.; SABA, N.; AHMAD, M.; DAR, A.; MASOOD, S.U.; IMRAN, M.; MUSTAFA, A. Mechanistic impact of zinc deficiency in human development. **Frontiers in Nutrition**, v. 9, p. 717064, 2022.

INDICADORES BÁSICOS PARA A SAÚDE NO BRASIL: conceitos e aplicações. Rede interagencial de informação para a saúde (RIPSA) 2ª ed. – Brasília: **Organização Pan-Americana de Saúde**, 2008.

INOCÊNCIO, M.F. **Frações de Zn no solo e biofortificação agronômica com selênio, ferro e Zn em soja e trigo**. 2014. 89 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

JOHNS, T.; EYZAGUIRRE, P.B. Biofortification, biodiversity and diet: a search for complementary applications against poverty and malnutrition. **Food Policy**, v. 32, n. 1, p. 1-24, 2007.

JOORABI, S.; EISVAND, H.R.; ISMAILI, A.; NASROLAHI, A.H. Effects of Zn nano-chelate foliar application on some physiological parameters and grain yield of soybean under water deficit stress. **Journal of Plant Process and Function**, v. 9, n. 35, p. 73-86, 2020.

KHOSHGOFTARMANESH, A. H.; SCHULIN, R.; CHANEY, R. L.; DANESHBAKHSH, B.; AFYUNI, M. Micronutrient-efficient genotypes for crop yield and nutritional quality in sustainable agriculture. **A review: Agronomy for Sustainable Development**, v. 30, n. 1, p. 83–107, 2010.

KOURY, J.C.; DONANGELO, C. Zn, estresse oxidativo e atividade física. **Revista de Nutrição**, v. 16, n. 4, p. 433-441, 2003.

KUZBAKOVA, M.; KHASSANOVA, G.; OSHERGINA, I.; TEN, E.; JATAYEV, S.; YERZHEBAYEVA, R.; BULATOVA, K.; KHALBAYEVA, S.; SCHRAMM, C.; ANDERSON, P.; SWEETMAN, C. Height to first pod: A review of genetic and breeding approaches to improve combine harvesting in legume crops. **Frontiers in Plant Science**, v. 13, p. 948099, 2022.

LI, J.; QING, P.; HU, W.; LI, M. Contract farming, community effect, and farmer valuation of biofortified crop varieties in China: The case of high-zinc wheat. **Review of Development Economics**, v. 26, n. 2, p. 1035-1055, 2022.

LINDSAY, W.L. 1991. **Inorganic equilibria affecting micronutrients in soils**. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, R.M. (eds). *Micronutrients in Agriculture*. SSSA Book Series No. 4. Madison, W.I. p. 89–112.

LOBELL, D.B., SCHLENKER, W., COSTA-ROBERTS, J. Climate trends and global crop production since 1980. **Science**, v. 333, p. 616–620, 2011.

LOKURUKA, M.N.I. Soybean nutritional properties: The good and the bad about soy foods consumption-A review. **African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development**, v. 10, n. 4, 2010.

LONG, J. K.; BANZIGER, M.; SMITH, M. E. Diallel analysis of grain iron and zinc density in southern African-adapted maize inbreds. **Crop Science**, Madison, v. 44, p. 2019-2026, 2004.

LOUREIRO, M.P. et al. Biofortificação de alimentos: problema ou solução? **Segurança Alimentar e Nutricional**, v. 25, n. 2, p. 66-84, 2018.

LU, W.; DU, R.; NIU, P.; XING, G.; LUO, H.; DENG, Y.; SHU, L. Soybean yield preharvest prediction based on bean pods and leaves image recognition using deep learning neural network combined with GRNN. **Frontiers in Plant Science**, v. 12, p. 791256, 2022.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006.

MALAVOLTA, E.; BOARETTO, A. E.; PAULINO, V. T. Micronutrientes: uma visão geral. In: FERREIRA, M. E; CRUZ, M. C. P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. p. 1-34.

MARSCHNER, H. (1993) Zinc uptake from soils. In: Robson AD (ed) **Zinc in Soils and Plants**. Kluwer, Dordrecht, The Netherlands, p 59–77.

MARTENS, D.C.; WESTERMANN, D.T. **Fertilizers applications for correcting micronutrient deficiencies**. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCH, R.M. (Eds.). *Micronutrients in agriculture*. 2.ed. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 549-592.

MARTÍNEZ CUESTA, N.; CARCIOCHI, W.; WYNGAARD, N.; SAINZ ROZAS, H.; SILVA, S.; SALVAGIOTTI, F.; BARBIERI, P. Zinc fertilization strategies in soybean: plant uptake, yield, and seed concentration. **Journal of Plant Nutrition**, v. 46, n. 6, p. 1134-1144, 2023.

MARTINO, H.S.D. et al. Nutritional and bioactive compounds of soybean: benefits on human health. **Soybean and Health**, IntechOpen: London, UK, p. 465-488, 2011.

MASCARENHAS, H. A. A.; ESTEVES, J. A. S; WUTKE, E. B.; GALLO, P. B. Micronutrientes em soja no estado de São Paulo. **Nucleus**, v.11, n.1, p.323-342, 2014.

MATA-RAMÍREZ, D.; SERMA-SALDIVAR, S. O.; ANTUNES-RICARDO, M. Enhancement of anti-inflammatory and antioxidant metabolites in soybean (*Glycine max*) calluses subjected to selenium or UV-light stresses. **Scientia Horticulturae**, 257, 2019. 10866.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Pesquisa Nacional de Demografia e Saúde da Criança e da Mulher: 2006**. Brasília; 2008.

MONZON, J.P.; LA MENZA, N.C.; CERRUDO, A.; CANEPA, M.; EDREIRA, J.I.R.; SPECHT, J.; ANDRADE, F.H.; GRASSINI, P. Critical period for seed number determination in soybean as determined by crop growth rate, duration, and dry matter accumulation. **Field Crops Research**, v. 261, p. 108016, 2021.

MORAIS, D.C. et al. Insegurança alimentar e indicadores antropométricos, dietéticos e sociais em estudos brasileiros: uma revisão sistemática. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, p. 1475-1488, 2014.

NATASHA, N.; SAHAHID, M.; BIBI, I.; IQBAL, I.; KHALID, S.; MURTAZA, B.; BAKHAT, H. F.; FAROOQ, A. B. U.; AMJAD, M.; HAMMAD, H. M.; NIAZI, N. K. ARSHAD, M. Zinc in soil-plant-human system: A data-analysis review. **Science of the Total Environment**, 2021. < <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152024>.>

NEKOUKHO, M. et al. Improved efficacy of foliar application of zinc oxide nanoparticles on zinc biofortification, primary productivity and secondary metabolite production in dragonhead. **Journal of Cleaner Production**, v. 379, p. 134803, 2022.

OLIVEIRA, F. C.; BENETT, C. G. S.; BENETT, K. S. S.; SILVA, L. M.; VIEIRA, B. C. Diferentes doses e épocas de aplicação de Zn na cultura da soja. **Revista de Agricultura Neotropical**, v.4, Supplement 1, p.28-35, 2017.

OLIVEIRA, J. P.; SILVA, J. V. F.; FERNANDES, M. S.; REIS, A. R. Efeito da adubação com Zn sobre a produção e qualidade da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 11, p. 1052-1060, 2017.

**ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU)**. Agenda 2030. Brasil, 2016. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>>. Acesso em: 10 jan. 2023.

OZTURK, H.; NIAZI, P.; MANSOOR, M.; MONIB, A.W.; ALIKHAIL, M.; AZIZI, A. THE Function of Zinc in Animal, Plant, and Human Nutrition. **Journal for Research in Applied Sciences and Biotechnology**, v. 2, n. 2, p. 35-43, 2023.

PARAGINSKI, J.A.; TOEBE, M.; MORAES, M.P.; SOUZA, R.R.D.; PARAGINSKI, P.E.; BITTENCOURT, K.C. Yield components of soybean cultivars under sowing densities. **Revista Ceres**, v. 69, p. 416-424, 2022.

PAULETTI, V.; MOTTA, A. C. V. (coord). **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, p. 482, 2017.

PAWLOWSKI, M.L.; HELFENSTEIN, J.; FROSSARD, E.; HARTMAN, G.L. Boron and zinc deficiencies and toxicities and their interactions with other nutrients in soybean roots, leaves, and seeds. **Journal of Plant Nutrition**, v. 42, n. 6, p. 634-649, 2019.

PICANÇO, B. B.; SILVA, B. N.; RODRIGUES, F. A. Soybean leaf age influences the infection process of *Phakopsora pachyrhizi*. **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v. 127, p. 102069, 2023.

POLIZEL, A. C.; MENEZES, P. C.; DA SILVA, A. R. B.; GUIMARÃES, S. L.; DA SILVA, M. A. P. Teor de clorofila e severidade da ferrugem asiática em função de cultivares, aplicação de fungicidas e época de semeadura da soja. **Enciclopédia Biosfera**, v. 7, n. 12, p. 1-12, 2011.

PRASAD, A. S. Lessons Learned from Experimental Human Model of Zinc Deficiency. **Journal of Immunology Research**, v.2020 p. 1-12, 2020.

PRIMIANO, I. V.; AMORIM, L. Comparative study on the monocycle of *Phakopsora meliosmae-myrianthae* and *Phakopsora pachyrhizi*. **European Journal of Plant Pathology**, v. 157, n. 1, p. 151-162, 2020.

PURUCKER, T.; STEINKE, K. Soybean seeding rate and fertilizer effects on growth, partitioning, and yield. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 3, p. 2288-2301, 2020.

RAHMAN, R.; SOFI, J.A.; JAVEED, I.; MALIK, T.H.; NISAR, S. Role of micronutrients in crop production. **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences**, v. 8, p. 2265-2287, 2020.

RAI, S.; SINGH, P. K.; MANKOTIA, S.; SWAIN, J.; SATBHAI, S. B. Iron homeostasis in plants and its crosstalk with copper, zinc, and manganese. **Plant Stress**, v. 1, p.100008. 2021.

ROSSETTO, R.; CANRARELLA, H.; DIAS, F. L. F.; VITTI, A. C.; TAVARES, S. Cana-de-açúcar In: PROCHNOW, L. I; CASARIN, V.; STIPP, S. R. (Ed.). **Boas Práticas para uso eficiente de fertilizantes** – Culturas v.3, p. 163 -230, Piracicaba: IPNI, 2010.

SANTOS, E.B.; AMANCIO, O.; OLIVA, C.A.G. Estado nutricional, ferro, cobre e Zn em escolares de favelas da cidade de São Paulo. **Revista da Associação Médica Brasileira**, v. 53, n. 4, p. 323-328, 2007.

SALEEM, S.; MALIK, A.; KHAN, S. T. Prospects of ZnO-Nanoparticles for Zn Biofortification of *Triticum aestivum* in a Zinc-Solubilizing Bacteria Environment. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 23, p. 4350-4360, 2023.

SILVA, G. C. C. **Biofortificação de Soja com Zn**. 2017. 22f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2017. Trends in Plant Science, v.10, p. 586-593, 2005.

SILVA, V. S. **Manejo da adubação com Zn em cultivares de soja e seus efeitos no teor, acúmulo e translocação nas plantas**. (Trabalho de conclusão de curso) Faculdade de Agronomia – Universidade de Rio Verde, 2022.

THAPA, S.; BHANDARI, A.; GHIMIRE, R.; XUE, Q.; KIDWARO, F.; GHATREHSAMANI, S.; MAHARJAN, B.; GOODWIN, M. Managing micronutrients for improving soil fertility, health, and soybean yield. **Sustainability**, v. 13, n. 21, p. 11766, 2021.

UMAR, W. et al. Synthesis, characterization and application of ZnO nanoparticles for improved growth and Zn biofortification in maize. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 67, n. 9, p. 1164-1176, 2021.

USSEC - US SOYBEAN EXPORT COUNCIL. **Recommended Soy Intakes**. 2015. Disponível em: <[https://ussec.org/wp-content/uploads/2015/10/SOY13\\_9\\_Recommended-Soy-Intakes.pdf](https://ussec.org/wp-content/uploads/2015/10/SOY13_9_Recommended-Soy-Intakes.pdf)>. Acesso em: 12/05/2021.

VAGHAR, M.S.; SAYFZADEH, S.; ZAKERIN, H.R.; KOBRAEE, S.; VALADABADI, S.A. Foliar application of iron, zinc, and manganese nano-chelates improves physiological indicators and soybean yield under water deficit stress. **Journal of Plant Nutrition**, v. 43, n. 18, p. 2740-2756, 2020.

WALTON, J.; BROWN, L.; STORR, S. **Digital transformation for more nutritious food systems: How digital tools can be used to scale and commercialize nutrient-enriched staple crops**. Intl Food Policy Res Inst, 2023.

WEISANY, W.; RAEI, Y.; ALLAHVERDIPOOR, K. H. Role of some mineral nutrients in biological nitrogen fixation. **Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences**, v. 2, n. 4, p. 77-84, 2013.

WELCH, R. M. Micronutrient nutrition of plants. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 14, n. 1, p. 48-87, 1995.

WELK, A.K.; KLEINE-KALMER, R.; DAUM, D.; ENNEKING, U. Consumer acceptance and market potential of iodine-biofortified fruit and vegetables in germany. **Nutrients**, v. 13, n. 12, p. 4198, 2021.

WENNECK, G. S.; SAATH, R.; VOLPATO, C. de S.; ARAÚJO, L. L. de; SÁ, N. de O.; SANTI, D. C. Nutrientes em sementes de soja em função da aplicação de Zn. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.9, n.3, p. 20-27, 2020.

WESSELS, K.B., BROWN, K.H. Estimating the global prevalence of zinc deficiency: results based on zinc availability in national food supplies and the prevalence of stunting. **Journal Pone** 7, 2012.

WHITE, P.J.; BROADLEY, M.R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets—iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. **New Phytologist**, v. 182, n. 1, p. 49–84, 2009.

WHITE, P.J.; BROADLEY, M.R.; GREGORY, P.J. Managing the Nutrition of Plants and People. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2012, p.13, 2012.

WHITE, P.J.; BROWN, P.H. Plant nutrition for sustainable development and global health. **Annals of Botany**, v. 105, n. 7, p. 1073–1080, 2010.

WILLINGHOFER, R., O. **Toxicidade de cádmio na cultura da soja** / Dados Internacionais de Catalogação na Publicação - (CIP) Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) — Universidade de Rio Verde - UniRV, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Faculdade de Agronomia, 2020. 80f.: il.

WU, Z.; RODGERS, R.P.; MARSHALL, A.G. Characterization of vegetable oils: detailed compositional fingerprints derived from electrospray ionization fourier transform ion cyclotron resonance mass spectrometry. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 52, n. 17, p. 5322-5328, 2004.

ZHAN, J., TWARDOWSKA, I., WANG, S.Q., WEI, S.H., CHEN, Y.Q., LJUPCO, M. Prospective sustainable production of safe food for growing population based on the soybean (*Glycine max L. Merr.*) crops under Cd soil contamination stress. **Journal of Cleaner Production**, v. 212, p. 22–36, 2019.

ZOU, T. et al. Biofortification of soybean sprouts with zinc and bioaccessibility of zinc in the sprouts. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 14, p. 3053- 3060, 2014.