

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

**POTENCIAL DE CULTIVARES DE SOJA PARA UTILIZAÇÃO EM
PROGRAMAS DE BIOFORTIFICAÇÃO COM ZINCO**

RAQUEL DE SOUSA NETA
Magister Scientiae

RIO VERDE
GOIÁS – BRASIL
2022

RAQUEL DE SOUSA NETA

**POTENCIAL DE CULTIVARES DE SOJA PARA UTILIZAÇÃO EM PROGRAMAS
DE BIOFORTIFICAÇÃO COM ZINCO**

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
2022**

Universidade de Rio Verde
Biblioteca Luiza Carlinda de Oliveira
Bibliotecário: Juatan Tiago da Silva – CRB 1/3158
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação – (CIP)

S697 Sousa Neta, Raquel de

Potencial de cultivares de soja para utilização em programas de biofortificação com zinco. / Raquel de Sousa Neta. – 2022
38 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de Rio Verde - UniRV, Faculdade de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, 2022.

Inclui índice de tabelas e figuras.

1. *Glycine max* (L.) Merrill. 2. Micronutriente. 3. Fortificação de grãos. I. Cantão, Veridiana Cardozo Gonçalves. II. Título.

CDD: 633.34

RAQUEL DE SOUSA NETA

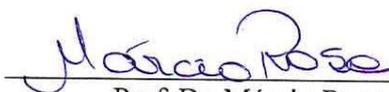
POTENCIAL DE CULTIVARES DE SOJA PARA UTILIZAÇÃO EM PROGRAMAS
DE BIOFORTIFICAÇÃO COM ZINCO

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: 20 de abril de 2022



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



Prof. Dr. Márcio Rosa
Membro - FA/UniRV



Prof. Dr. Charles Barbosa Santos
Membro - FA/UniRV



Dra. Camila Pereira Caixeta Fernandes
Membro – Agrar Planejamento Agrícola Ltda

DEDICATÓRIA

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

Ao meu companheiro, Waister Nunes Guimarães, que me apoiou em todos os momentos, me incentivando a chegar até aqui.

Aos meus pais, por se fazerem presentes em minha vida e nesta etapa.

Aos meus amados filhos, Maria Eduarda, Érica Cristina e Miguel Eduardo, que deram sentido especial à minha vida e me proporcionam grandes momentos de felicidade.

À minha orientadora, Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão, que foi mais do que uma amiga, mãe e que sempre esteve ao meu lado me dando broncas e me aconselhando.

AGRADECIMENTO

Ao curso de Mestrado em Produção Vegetal da UniRV e aos professores que me ensinaram neste período. Tenho certeza que saio uma profissional mais completa e comprometida após este período de desafios e conquistas.

À minha orientadora, Dra. Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão, por todos os ensinamentos, pela paciência, persistência, atenção e compreensão que teve a todo momento comigo, se fazendo presente em minha vida não só acadêmica como pessoal, onde em muitos momentos foi a minha fortaleza, estabelecendo minha fé e enaltecendo a minha capacidade. A você toda a minha gratidão, você sempre será parte de minhas (nossas) vitórias!

À minha mãe, Maria de Abreu Souza, 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!

Ao meu marido, Waister Nunes Guimarães, e aos meus filhos, Maria Eduarda, Érica Cristina e Miguel Eduardo, obrigada por serem meu alicerce todos os dias, por serem a minha força e a minha vontade de continuar, a minha chegada até aqui é por vocês.

À minha amiga e comadre, Sandra Possamai, por ter colaborado na montagem do experimento, e ao meu cunhado, Willan Guimarães, por muitas das vezes ter colaborado na reposição da solução nutritiva, por sempre me dar forças e concelhos quando eu não estava em um momento satisfatório; vocês foram partes fundamentais deste projeto, a vocês a minha eterna gratidão e admiração.

Aos professores, Marcio Rosa, Rose Luiza Moraes Tavares, Charles Barbosa Santos, por terem contribuído com a execução do trabalho, pelos concelhos, por estarem sempre disponíveis quando precisei; a vocês minha eterna gratidão.

Aos meus colegas da Universidade, Luana, Vitor Santos, Tiago, Larissa, Maria Eduarda, Caio, Gustavo, Matheus, Ana Paula Sousa, Isadora e aqueles, os quais estiveram presentes no desenvolvimento do projeto, porém não tenho ciência dos seus nomes, obrigada por sempre estarem dispostos a ajudar, estudar juntos; sem vocês esta jornada não teria acontecido.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	IV
LISTA DE TABELAS.....	V
RESUMO.....	VI
ABSTRACT.....	VII
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÕES BIBLIOGRÁFICAS.....	3
2.1 Soja.....	3
2.2 Carência alimentar e desnutrição.....	4
2.3 Zinco nas plantas e no solo.....	4
2.4 Biofortificação e segurança alimentar.....	5
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	6
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
5 CONCLUSÃO.....	20
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	21
REFERÊNCIAS.....	21

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	Composição química dos nutrientes presentes na solução nutritiva de Hoagland; Arnon (1950).....	7
TABELA 2	Resumo da análise de variância para as variáveis resposta, avaliadas nos cultivares de soja cultivados em função de formas de aplicação de zinco em Rio Verde – GO.....	10
TABELA 3	Altura de plântula (API) e poder germinativo de cultivares de soja cultivados em função de formas de aplicação de zinco em Rio Verde – GO	12
TABELA 4	Comprimento e massa seca de raiz (CR e MSR) nos cultivares de soja cultivados em função de formas de aplicação de zinco em Rio Verde – GO	14
TABELA 5	Número de nódulos (NN) dos cultivares de soja cultivados em função de formas de aplicação de zinco em Rio Verde – GO.....	17

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Unidades experimentais (bonecas) para avaliação do potencial germinativo de cultivares de soja submetidos a diferentes formas de fornecimento de zinco.....	8
FIGURA 2	Unidades experimentais (vasos Leonard) para avaliação do desenvolvimento de cultivares de soja submetidos a diferentes formas de fornecimento de zinco.....	9
FIGURA 3	Comprimento de radícula (CRd) da soja cultivada em função de diferentes formas de aplicação de Zn e dos cultivares em Rio Verde – GO. Letras iguais não diferem pelo teste de Skott-Knott a $p \leq 0,05$	11
FIGURA 4	Altura da parte aérea (A), massa seca da parte aérea (B) e massa seca de nódulos (C) de cultivares de soja cultivados em função de formas de aplicação de zinco em Rio Verde – GO. Letras iguais não diferem pelo teste de Skott-Knott a $p \leq 0,05$	15
FIGURA 5	Altura da parte aérea (A), massa seca da parte aérea (B) e massa seca de nódulos (C) de soja cultivada com diferentes formas de aplicação de Zn em função dos cultivares em Rio Verde – GO. Letras iguais não diferem pelo teste de Skott-Knott a $p \leq 0,05$	16
FIGURA 6	Zn foliar (A) e radicular (B e C) em cultivares de soja cultivados em função de formas de aplicação de zinco em Rio Verde – GO. Letras iguais não diferem pelo teste de Skott-Knott a $p \leq 0,05$	19

RESUMO

NETA, R. S., UniRV – Universidade de Rio Verde, abril de 2022. **Potencial de cultivares de soja para utilização em programas de biofortificação com zinco.** Orientadora: Profa. Dra. Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão.

O cultivo de soja apresenta-se como uma das principais atividades econômicas no Brasil, sendo cultivada em quase todo o território nacional e podendo ser considerada como um alimento funcional, pois apresenta substâncias capazes de modular as respostas metabólicas do indivíduo. Contudo, os problemas de deficiência nutricional vêm atingindo grande parte da população mundial, sendo uma delas a carência de zinco. A carência de zinco (Zn) está relacionada a diversos problemas de saúde. Buscando uma forma de combater a desnutrição, estratégias estão sendo traçadas e a biofortificação é uma das dotadas. Nesse contexto, objetivou-se avaliar o potencial de cultivares de soja para utilização em programas de biofortificação com zinco. Para isso, o trabalho foi conduzido em laboratório de sementes e casa de vegetação da UniRV. Os experimentos foram conduzidos em delineamento inteiramente casualizado com 4 repetições em esquema fatorial 8x4. O primeiro fator foi composto por cultivares de soja e o segundo pelas as formas de fornecimento de Zn (solução nutritiva, tratamento de sementes e solução nutritiva + tratamento de sementes). No laboratório de sementes, foram avaliados germinação, altura de plântula e comprimento de radícula. Em casa de vegetação, avaliou-se altura de parte aérea, comprimento de raiz, número de nódulos, massa seca de parte aérea, massa seca de raiz, massa seca de nódulos, teor de Zn foliar e raiz. Os resultados obtidos permitem concluir que as formas de fornecimento do Zn influenciaram no desenvolvimento dos cultivares de soja tanto nos parâmetros relacionados ao teste de germinação quanto nas avaliações realizadas em casa de vegetação. O comprimento de radícula (CRd) na média dos oito cultivares foi maior com o fornecimento de Zn por solução nutritiva no cultivar de soja Única, apresentando radícula mais longa. As características altura de parte aérea (APA), massa seca de parte aérea (MSPA) e o teor de Zn foliar apresentaram efeito significativo a 1% de probabilidade. Na fonte de variação cultivar, as maiores massas secas de nódulos (MSN) foram encontradas nos cultivares DM80i79 IPRO (0,43 g), Bônus IPRO (0,40 g) e Única IPRO (0,38 g), sendo que a nodulação da soja foi maior no cultivar DM68i69 IPRO com o fornecimento de Zn no TS e no NEO 710 IPRO, quando o tratamento utilizado foi solução isoladamente ou associado ao TS. Na altura de parte aérea, o cultivar Bônus IPRO apresentou plantas de soja mais altas na fonte de variação cultivar. O Zn foliar foi maior com o tratamento Zn solução mais Zn tratamento de sementes.

Palavras-chave: *Glycine max* (L.) Merrill, Micronutriente, Fortificação de grãos.

ABSTRACT

NETA, R. S., UniRV – University of Rio Verde, April 2022. **Potential of soybean cultivars for use in zinc biofortification programs.** Advisor: Profa. Dra. Veridiana Cardozo Gonçalves Cantão.

Soybean cultivation presents itself as one of the main economic activities in Brazil, being cultivated in almost the entire national territory and it can be considered as a functional food, as it presents substances capable of modulating the individual's metabolic responses. However, nutritional deficiency problems have been affecting a large part of the world population, one of which is the lack of zinc. Zinc (Zn) deficiency is related to several health problems. Seeking a way to combat malnutrition, strategies are being outlined, and biofortification is one of the endowed ones. In this context, the objective was to evaluate the potential of soybean cultivars for use in zinc biofortification programs. For this, the work was carried out in a seed laboratory and a greenhouse at UniRV. The experiments were carried out in a completely randomized design with 4 replications in an 8x4 factorial scheme. The first factor was composed by soybean cultivars and the second by the forms of Zn supply (nutrient solution, seed treatment and nutrient solution + seed treatment). In the seed laboratory, germination, seedling height and radicle length were evaluated. In a greenhouse, shoot height, root length, number of nodules, shoot dry mass, root dry mass, nodule dry mass, leaf and root Zn content were evaluated. The results obtained allow us to conclude that the forms of Zn supply influenced the development of soybean cultivars both in the parameters related to the germination test and in the evaluations carried out in the greenhouse. The average radicle length (CRd) of the eight cultivars was higher with the supply of Zn per nutrient solution in the soybean cultivar Única, which had a longer radicle. The characteristics of shoot height (APA), shoot dry mass (MSPA) and leaf Zn content showed a significant effect at 1% probability. In the cultivar variation source, the highest dry mass of nodules (MSN) was found in cultivars DM80i79 IPRO (0.43 g), Bônus IPRO (0.40 g) and Única IPRO (0.38 g), and the nodulation of soybean was higher in the DM68i69 IPRO cultivar with the supply of Zn in the TS and in the NEO 710 IPRO, when the treatment used was solution alone or associated with TS. At shoot height, the Bônus IPRO cultivar showed taller soybean plants in the cultivar variation source. Leaf Zn was higher with Zn solution plus Zn seed treatment.

Keywords: *Glycine max* (L.) Merrill, Micronutrient, Grain fortification.

1 INTRODUÇÃO

O cultivo da soja constitui uma das atividades de maior relevância para a economia no Brasil, pois é cultivada praticamente em todo território nacional, em áreas de alta e baixa latitude equatorial tropical, estando presente em várias regiões. A soja apresenta produtividade média superior à sua média obtida na região norte-americana (CONAB, 2016). Possivelmente, esta é uma das culturas que apresenta crescimento no cultivo de maior expressão e no segmento agroindustrial no Brasil, devido ao uso de cultivares devidamente adaptados à região tropical. A soja é superada apenas pelo milho, trigo e arroz tanto no Brasil como no mundo nas últimas décadas (CONAB, 2020).

Fornecendo nutrientes ao organismo e proporcionando benefícios para a saúde, a soja está presente há muitos anos na alimentação, podendo ser considerada como um alimento funcional, pois apresenta em sua composição substâncias capazes de modular as respostas metabólicas em humanos, obtendo, como resultando, maior proteção e estímulo à saúde, uma vez que auxilia a redução de riscos de doenças crônicas e degenerativas, permitindo o aumento da longevidade com qualidade de vida. Também constitui boa fonte de nutrientes como ferro, potássio, magnésio, zinco, cobre, fósforo, manganês e vitaminas do complexo B (CARRÃO-PANIZZI; MANDARINO, 1998).

Com o aumento da população, a soja é vista como um produto agrícola com grande quantidade de nutrientes e como fonte primária para sua ingestão. Isto a coloca no grupo de alimentos de interesse para consumo, também humano. De acordo com Godfray et al. (2010), a população mundial poderá atingir aproximadamente 9 bilhões de pessoas, crescendo aceleradamente até 2050. Sabendo-se que a produção de alimentos está ligada ao crescimento populacional, a produção agrícola mundial nos países em desenvolvimento deverá aumentar significativamente, devido à grande demanda mundial por alimentos, sendo necessário duplicar a produção (GRAHAM et al., 2001).

No entanto, os problemas de carência nutricional têm atingindo grande parte da população mundial, devido à composição e ao teor de nutrientes nos alimentos, destacando-se os micronutrientes, em especial o zinco (Zn), sendo este ignorado nos programas de melhoramento genético, que é voltado para o ganho de produtividade (WELCH et al., 1997; WELCH; GRAHAM, 1999; WELCH, 2001; GRAHAM et al., 2007; ÇAKMAK, 2002).

Sabendo que a soja é uma boa fonte de nutrientes, sua utilização na alimentação tem ocorrido de forma crescente, de tal forma que estratégias sobre o seu consumo como fonte de

nutrientes para suprir a carência da população de diversos países têm sido traçadas (CARRAO-PANIZZI et al., 1998). A deficiência de nutrientes é vista como grande problema mundial, sendo parte desta a carência de Zn, o qual é causador de diversos problemas relacionados a atividades de possivelmente mais de trezentas enzimas, causando distúrbios metabólicos, retardamento do crescimento e da capacidade de aprendizagem, possível causador de morte de fetos e crianças e vários outros problemas de saúde relacionados à sua carência (DEMMENT et al, 2003; HOTZ; BROWN, 2004; GIBSON, 2006; PRASAD, 2007).

Buscando-se explorar formas que possam combater a desnutrição, pesquisadores adotaram estratégias que visam o melhoramento de grãos, por meio de melhoramento convencional de plantas e biotecnologia, proporcionando aos alimentos uma qualidade nutricional, sendo este o foco da biofortificação (GRAHAM, 2003). A biofortificação agrônômica baseia-se no aumento da concentração de nutrientes e vitaminas nos produtos colhidos das culturas, por meio da utilização de fertilizantes no tratamento de sementes, adubação foliar e via solo associados a boas práticas de manejo, explorando o potencial da planta (WELCH, 2008).

O teor de zinco no solo está relacionado à sua baixa disponibilidade natural, cultivos consecutivos sem a sua reposição, super calagem, baixa concentração de matéria orgânica, agravando a falta e a carência do nutriente nas culturas (LINDSAY, 1991; MARTENS; WESTERMANN, 1991; MARSCHNER, 1993; CAKMAK, 2002). No entanto, em algumas regiões, sua concentração é suficiente para suprir a demanda da cultura (GRAHAM et al., 1999). Porém, sua absorção às vezes é limitada. A solubilização e mobilização de zinco é uma das estratégias utilizadas para aumentar a disponibilidade de Zn no solo para as culturas (CARVALHO; VASCONCELOS, 2013), bem como a aplicação de fertilizantes, sendo que o sulfato, óxido, cloreto de zinco e os quelatos são os mais utilizados (FAGERIA, 2009). O solo é a principal via de aplicação de Zn, no entanto, nos estudos agrônômicos de biofortificação, a planta também pode ser nutrida via sementes e foliar (INOCÊNCIO, 2014).

De acordo com Laurett (2015), o êxito da biofortificação com zinco está diretamente relacionado com a escolha da cultura que é consumida pela população; e as respectivas formas de aplicação (VELU et al., 2012). Nesse contexto, o presente trabalho visa avaliar o potencial de cultivares de soja para utilização em programas de biofortificação com zinco.

2 REVISÕES BIBLIOGRÁFICAS

2.1 Soja

A soja é considerada uma fonte alimentar completa, contendo praticamente todos os aminoácidos essenciais e a proteína de soja é nutricionalmente equivalente à proteína animal (FRIEDMAN; BRANDON 2001). Possui em sua composição cerca de 40% de proteína, 20% de óleo e 35% de carboidratos, além de substâncias com funções estruturais, hormonais e quimiopreventivas, dentre as quais se destacam as fibras, os carotenoides e os flavonoides (CARRÃO-PANNIZZI; MANDARINO 1998).

É uma das principais culturas que tem se desenvolvido atualmente, devido ao grande potencial nutritivo para a alimentação (FRIEDMAN; BRANDON, 2001). Diversos produtos à base de soja foram desenvolvidos a fim de fornecer alimentos com propriedades funcionais (GENOVESE; LAJOLO 2001).

O resultado de produtos alimentícios menos calóricos com proteína de boa qualidade nutricional, além de preservar as características físicas e sensoriais em relação ao produto tradicional, é o uso da quantidade adequada dos derivados de soja (isolado proteico, extrato ou concentrado de soja) (WU; RODGERS; MARSHALL 2004).

Derivados proteicos da soja possuem grande variedade de compostos fitoquímicos, os quais observaram-se exercer efeitos anticancerígenos associados a efeitos anti-inflamatórios e antioxidantes, protegendo o organismo contra os danos causados pelos radicais livres (MESSINA; LOPRINZI, 2001). Diversos compostos bioativos parecem ter um papel importante na manutenção da homeostase do organismo, sendo os inibidores de protease, saponinas, lecitinas, peptídeos bioativos e isoflavonas (DURANTI 2006).

Estudos sobre a quantidade ideal de consumo da proteína de soja/dia para efeitos benéficos para a saúde estão sendo debatidos, pois há dados que sugerem que uma quantidade inferior a 25 g seria o ideal (MESSINA, 2004). Portanto, em virtude do aumento no consumo da soja na dieta alimentar, esta apresenta-se com grande potencial de biofortificação agrônômica com Zn, podendo trazer muitos benefícios no desenvolvimento e no aumento da produtividade em solos com baixo teor do elemento, sendo isto interessante para toda cadeia produtiva (CESB, 2016).

2.2 Carência alimentar e desnutrição

Uma alimentação balanceada é aquela que possui em sua composição a quantidade ideal de cada elemento nutricional necessário à manutenção, restauração e crescimento dos tecidos e essencial para o desenvolvimento do sistema imunológico. Portanto, a deficiência nutricional implica em diversos distúrbios imunológicos, levando a uma série de infecções e doenças graves (WHO, 1997).

De acordo com o Unicef (2019), algum tipo de carência na alimentação está presente em aproximadamente 340 milhões de crianças, devido à globalização dos hábitos alimentares e à persistência da pobreza. Aproximadamente 12 milhões de crianças menores de 5 anos, nos países em desenvolvimento, morrem em decorrência direta ou indireta da desnutrição. Sugere-se que a desnutrição atinja, em sua maioria: crianças, grávidas ou em período de amamentação, pessoas com doenças crônicas e idosos em condições de pobreza, devido à sua vulnerabilidade (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2008).

Famílias que vivem em situação de pobreza têm uma grande dependência de alimentos processados, os quais possuem alta concentração de açúcares, sais e gorduras saturadas, com quantidades insignificantes de nutrientes, proteínas e fibras essenciais, desfavorecendo a composição nutricional dos alimentos, podendo ser prejudiciais à saúde (SANTOS et al, 2007).

A gravidade da deficiência nutricional em crianças difere da dos adultos. A infância é o período caracterizado pelo desenvolvimento do sistema imunológico, sendo essencial uma alimentação balanceada, reduzindo os agravos nutricionais e os riscos de baixa imunidade. Portanto, todos os minerais são importantes na saúde e bem-estar do ser humano, desempenhando funções fundamentais no organismo (WADA, 2004).

2.3 Zinco nas plantas e no solo

O zinco é responsável por muitos processos metabólicos na defesa imunológica, necessário na diferenciação celular, crescimento, desenvolvimento, reparação tecidual; sua deficiência ocasiona problemas na saúde, atingindo mundialmente mais de dois milhões de pessoas (KOURY; DONANGELO, 2003). Sugere-se que a deficiência de zinco esteja atribuída à alimentação com baixo teor do elemento, associado à sua baixa disponibilidade nos solos (CAKMAK, 2008).

A disponibilidade do Zn na solução do solo é controlada pelos mecanismos de adsorção e precipitação (CAMARGO, 1991). Esta dinâmica é afetada pelas práticas de manejo, como a

super calagem, que afeta a sua disponibilidade, pois o aumento do pH do solo favorece a precipitação de alguns micronutrientes, como o Zn. A maior disponibilidade ocorre em solos ácidos (SIMS; PATRICK 1978).

Práticas como manejo adequado do solo, associadas aos programas de biofortificação agrônômica com Zn, devem ser adotadas para elevar o teor de zinco, enriquecendo as culturas direcionadas à alimentação (CAKMAK; PFEIFFER; MCCLAFFERTY, 2010). A adubação com Zn pode ser realizada, por meio da aplicação via solo, foliar, semente e fertirrigação, sendo que a aplicação via foliar tem maior probabilidade de transporte do Zn até os frutos e demais partes em desenvolvimento do que a via solo ou tratamento de semente (WELCH, 1995).

2.4 Biofortificação e segurança alimentar

O constante crescimento populacional tem ocasionado aumento na demanda alimentar. Com isso, são necessárias medidas para aumentar a produção através do desenvolvimento das culturas. No entanto, não é só aumentar a produção de alimentos, mas sim alimentos com capacidade de suprir a necessidade nutricional da população (CAKMAK, 2008).

O crescimento desordenado da população mundial tem exigido muito do meio agrícola. O aumento de produtividade é visto como a forma de cessar a fome mundial. Contudo, espera-se que com o aumento da produtividade também se eleve a qualidade nutricional dos alimentos, para que se tenha segurança alimentar (CAKMAK; PFEIFFER; MCCLAFFERTY 2010).

Na atualidade, diversos países têm tido como principal desafio global a desnutrição, sendo este problema vital para a humanidade. Portanto, o conceito de segurança alimentar é definido por garantia de acesso a alimentos nutritivos, seguros, suficientes e satisfatórios, para uma dieta saudável e regular (FAO, 2015).

Assim sendo, estratégias agrônômicas na área de nutrição mineral de plantas estão sendo direcionadas para melhorar a eficácia dos fertilizantes nas lavouras, com objetivos de melhorar o desenvolvimento das culturas e sua aquisição e utilização fisiológica dos nutrientes, elementos benéficos e vitaminas (FAGERIA et al., 2011; WHITE; BROWN, 2010). Desta forma, é possível contribuir para sustentabilidade econômica, garantindo a segurança alimentar e ambiental da agricultura (WHITE et al., 2012).

Para complementar e aumentar a concentração dos nutrientes em culturas que são destinadas à alimentação, algumas estratégias podem ser empregadas. Uma delas é a biofortificação agrônômica, que se destina ao uso de fertilizantes contendo nutrientes e

elementos benéficos que são desprovidos na dieta humana, sendo o Zn, Cu, Fe, I, Se, Mg e Ca os principais (WHITE; BROADLEY, 2005; GRAHAM et al., 2007; WHITE; BROADLEY, 2009; BOUIS; WELCH, 2010; CAKMAK, 2008; CAKMAK, 2004; JOHNS; EYZAGUIRRE, 2007; KHOSHGOFTARMANESH et al., 2010).

No início de 1990, o economista Howarth Bouis, deu origem à biofortificação de alimentos e à HarvestPlus, reconhecido programa internacional que promove e coordena ações de biofortificação de alimentos no mundo todo. No Brasil, em meados de 2000, iniciou-se os trabalhos com biofortificação genética na Embrapa, a qual criou uma rede de pesquisa denominada bioFORT, sob coordenação da pesquisadora Marília Nutti, porém, a biofortificação agrônômica é mais recente no Brasil (SBCS, 2016).

Atualmente, o coordenador do HarvestZinc no Brasil é o professor titular do departamento de ciência do solo da Universidade Federal de Lavras, Luiz Roberto Guimarães Guilherme. O programa visa a biofortificação agrônômica dos alimentos, sendo aquele um dos pesquisadores mais atuantes nesta área, vinculado ao HarvestPlus (NUTTI, 2015).

Alguns dos trabalhos desenvolvidos pelo grupo HarvestZinc no Brasil relacionados à biofortificação de culturas são: rabanete (DA SILVA et al, 2020), milho (GONÇALVES et al 2019), mandioca (CORGUINHA et al, 2019), batata (DE OLIVEIRA et al, 2019), trigo (LARA et al, 2019), cenoura (OLIVEIRA et al, 2018), arroz (BOLDRIN et al, 2012; MARTINS et al, 2018), brassica (GUILHERME et al, 2014) e alface (RAMOS et al, 2011).

Nota-se que estudar biofortificação agrônômica é um tema de relevância mundial. Assim, existe a necessidade de estudos na cultura da soja em função da importância da cultura para o Brasil e das propriedades químicas e nutricionais de seus grãos. Isto faz da soja um grão que possivelmente seja incorporado aos programas de biofortificação de maneira a auxiliar na segurança alimentar.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no laboratório de sementes e em casa de vegetação climatizada da UniRV – Universidade de Rio Verde, localizado nas coordenadas 17°47'18"S 50°57'31"W e apresenta clima do tipo Aw. 23,3°C segundo Koppen, altitude 739 m.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, seguindo o esquema fatorial 8x4, contendo 4 repetições por tratamento. Na primeira fonte de variação

foram testados 8 cultivares de soja (Desafio RR, NEO 680 IPRO, ÚNICA IPRO, DM68169 IPRO, NEO710 IPRO, Foco IPRO, Bônus IPRO, DM80i79 IPRO). Estes apresentam diferentes grupos de maturação, sendo: 7.4 Desafio RR, 6.8 NEO 680 IPRO, 6,8 ÚNICA IPRO, 6.8 DM68169 IPRO, 7.1 NEO710 IPRO, 7.2 Foco IPRO, 7.9 Bônus IPRO, 8.0 DM80i79 IPRO.

A segunda fonte de variação do fatorial correspondeu às formas de fornecimento do Zn (controle (-Zn), tratamento de sementes (TS) e solução nutritiva (SN) e TS+SN). Realizou-se, antes da semeadura, o tratamento de sementes (TS) com a adição de Zn, onde as sementes de soja foram enriquecidas com 2 g kg⁻¹ de Zn (zinco) na forma de solução com ZnSO₄ e água destilada e deionizada. A solução nutritiva utilizada foi a de Hoagland (Tabela 1).

Tabela 1 - Composição química dos nutrientes presentes na solução nutritiva de Hoagland; Arnon (1950)

Teor dos nutrientes			
-----mg L ⁻¹ de solução nutritiva-----		-----µg L ⁻¹ de solução nutritiva-----	
N	-	B	500
P	31,0	Cu	20
K	234,6	Fe	5022
Ca	200,4	Mn	502
Mg	48,6	Mo	11
S	64,2	Zn	50

A condução do experimento visando avaliar o efeito dos tratamentos na germinação e crescimento inicial da soja seguiu as recomendações das Regras para Análises de Sementes (RAS) (BRASIL, 2009). As unidades experimentais para o teste de germinação foram compostas por 80 sementes, com quatro repetições de 20 sementes por tratamento, utilizando como substrato rolos de papel germitest (boneca) previamente umedecidos com água destilada ou solução à base de Zinco, na proporção de 2,5 vezes a massa do papel seco e mantido em germinador à temperatura de 25°C a 30°C (Figura 1). As avaliações foram efetuadas 5 dias após a semeadura (BRASIL, 2009) e foram compostas por: poder germinativo das sementes (%), altura de plântulas (API) e o comprimento de radícula (CRd). Os resultados expressos em porcentagem



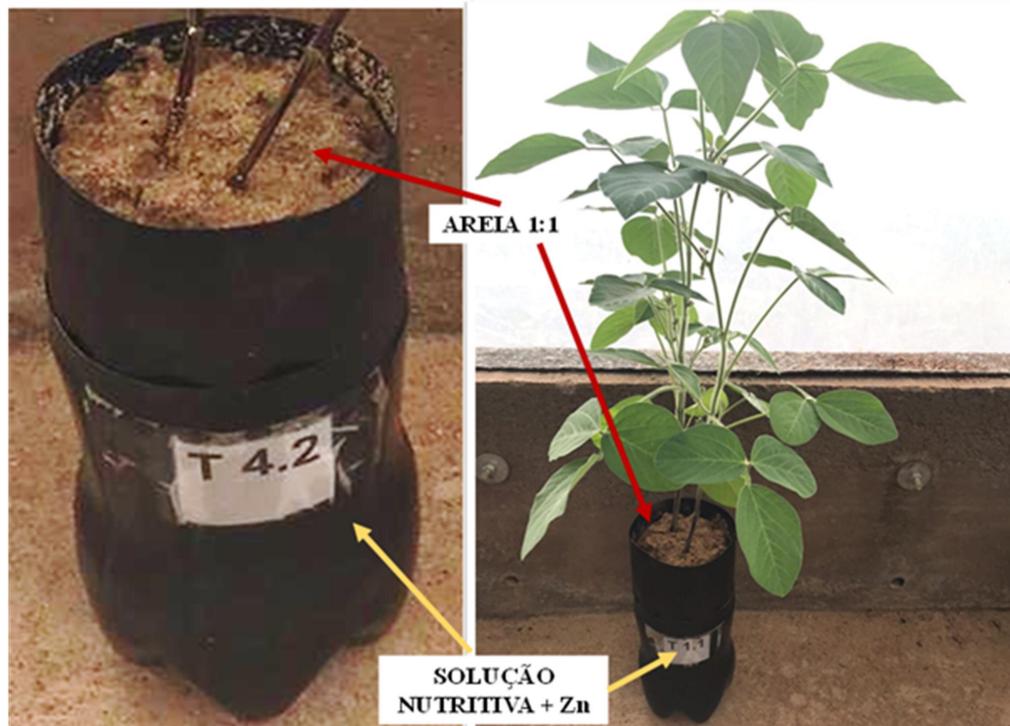
Fonte: Neta (2020).

Figura 1 - Unidades experimentais (bonecas) para avaliação do potencial germinativo de cultivares de soja submetidos a diferentes formas de fornecimento de zinco.

O experimento em casa de vegetação foi conduzido em vasos tipo Leonard (Figura 2), onde na parte superior foi colocado 1,4 kg de areia 1:1 (areia fina e grossa), previamente lavada e peneirada, para evitar possíveis contaminações. A parte de baixo dos vasos foi utilizada para o fornecimento de água, nutrientes e exposição das plantas ao Zn.

Antes da semeadura, realizou-se o TS com a adição de Zn (2 g kg^{-1} de Zn (zinco) na forma de solução com $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (22,74% Zn) e água destilada e deionizada) e a inoculação. Foram inoculadas às sementes as estirpes de *Bradyrhizobium japonicum* (de acordo com as recomendações de produto comercial) para garantir o suprimento adequado de nitrogênio (N) via fixação biológica (FBN) para a cultura.

Quatro sementes de cada cultivar de soja foram semeadas por vaso. Após 7 dias da semeadura realizou-se o desbaste, deixando-se duas plantas por vaso. Durante a condução do experimento, o suprimento de nutrientes para a soja ocorreu por meio da solução nutritiva de Hoagland (Tabela 1), isenta de N, para não inviabilizar a fixação biológica (FBN). A reposição da solução nutritiva ocorreu semanalmente, conforme a necessidade da cultura e a evapotranspiração.



Fonte: Adaptado de Willinghöfer, (2020).

Figura 2 - Unidades experimentais (vasos Leonard) para avaliação do desenvolvimento de cultivares de soja submetidos a diferentes formas de fornecimento de zinco.

Quando as plantas atingiram o estágio fenológico R_1 (52 dias após a semeadura), foram realizadas as avaliações das características biométricas e nutricionais (teor foliar de Zn). As biométricas foram compostas por: altura de parte aérea (APA), comprimento de raiz (CR), massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR), massa seca de nódulos (MSN), número de nódulos (NN).

Posteriormente à colheita, as plantas foram secas em estufa a 60°C , pesadas para obtenção da massa seca de parte aérea (MSPA) e massa seca de raiz (MSR). Na sequência, as plantas foram moídas e submetidas à extração de Zn por digestão via úmida, para obtenção do Zn foliar e Zn raiz (SILVA, 2009).

Os resultados obtidos no laboratório e na casa de vegetação foram submetidos à análise de variância (ANAVA) pelo programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2019). E, quando foram observados efeitos significativos dos tratamentos, utilizou-se o teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade para comparar as médias das variáveis.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo da ANAVA (tabela 2) permite observar que as características quantificadas foram influenciadas pela forma de fornecimento do Zn e pelos cultivares isoladamente e na interação dos dois fatores. O comprimento de radícula (CRd) foi significativo nas duas fontes de variação, a 1% de probabilidade, porém os efeitos foram observados isoladamente. Por outro lado, a altura de plântulas (API) e o poder germinativo apresentaram efeitos significativos ($p \leq 0,01$) nas fontes de variação isoladamente e na interação entre elas.

As características altura da parte aérea (APA), massa seca da parte aérea (MSPA) e Zn foliar e as formas de fornecimento de Zn para a soja apresentaram efeitos significativos ao nível de 1% de probabilidade. A massa seca de nódulos (MSN) e Zn raiz também foram influenciadas pelas formas de fornecimento do Zn, entretanto, ao nível de 5% de significância.

O fator de variação cultivar resultou em efeito significativo para as variáveis APA, número de nódulos (NN), MSPA e MSN, Zn raiz, todos a $p \leq 0,01$. O NN ainda apresentou significância ($p \leq 0,01$) na interação entre as fontes de variação; já as características comprimento de raiz (CR) e massa seca de raiz (MSR) não foram influenciadas pelos tratamentos.

Tabela 2 - Resumo da análise de variância para as variáveis resposta, avaliadas nos cultivares de soja cultivados em função de formas de aplicação de zinco em Rio Verde – GO

FV	GL	API	CRd	Germ.	APA	CR	NN	MSPA	MSR	MSN	Zn folha	Zn Raiz
Zn	3	**	**	**	**	ns	ns	**	ns	*	**	*
Cultivar (C)	7	**	**	**	**	ns	**	**	ns	**	ns	**
Zn*C	21	**	ns	**	ns	ns	**	ns	ns	ns	ns	Ns
Erro	96											
CV (%)	-	17,9	28,6	10,9	15,5	29,7	22,3	14,5	22,0	24,5	27,2	29,21

FV: fonte de variação; GL: grau de liberdade; CV: coeficiente de variação; API: Altura de plântula; CRd: comprimento de radícula; Germ. Percentual de germinação; APA: altura da parte aérea; CR: comprimento de raiz; NN: número de nódulos; MSPA: massa seca da parte aérea; MSR: massa seca de raiz; MSN: massa seca de nódulos; ns não significativo; ** significativo $p \leq 0,01$; * significativo $p \leq 0,05$.

A fonte de variação fornecimento de Zn resultou em maior CRd da soja (21,28 cm) quando o Zn foi fornecido na solução (S), como observa-se na Figura 3A. Os demais tratamentos não diferiram entre si.

Avaliando o teste de médias para o CRd entre os cultivares, verifica-se que o material genético Única foi o que desenvolveu radícula mais longa, diferindo dos demais cultivares. Os

cultivares Foco e DM 80i79 IPRO foram os materiais de CRd que apresentaram radículas de comprimento intermediário, não diferindo entre elas, mas CRd inferior ao cultivar Única, porém superior aos demais cultivares. Por fim, os 5 cultivares restantes apresentaram radículas menores, não diferindo estatisticamente os materiais genéticos (Figura 3B). Trabalhos com sementes de trigo e arroz mostraram que o fornecimento de Zn é fundamental para a germinação e estabelecimento destas culturas (PRADO et al., 2007). Os autores mencionam que o Zn acelera o crescimento da radícula, conferindo às plantas crescimento inicial estável, resultando em plantas com maior resistência a patógenos do solo e tolerância a estresses abióticos (CAKMAK, 2005).

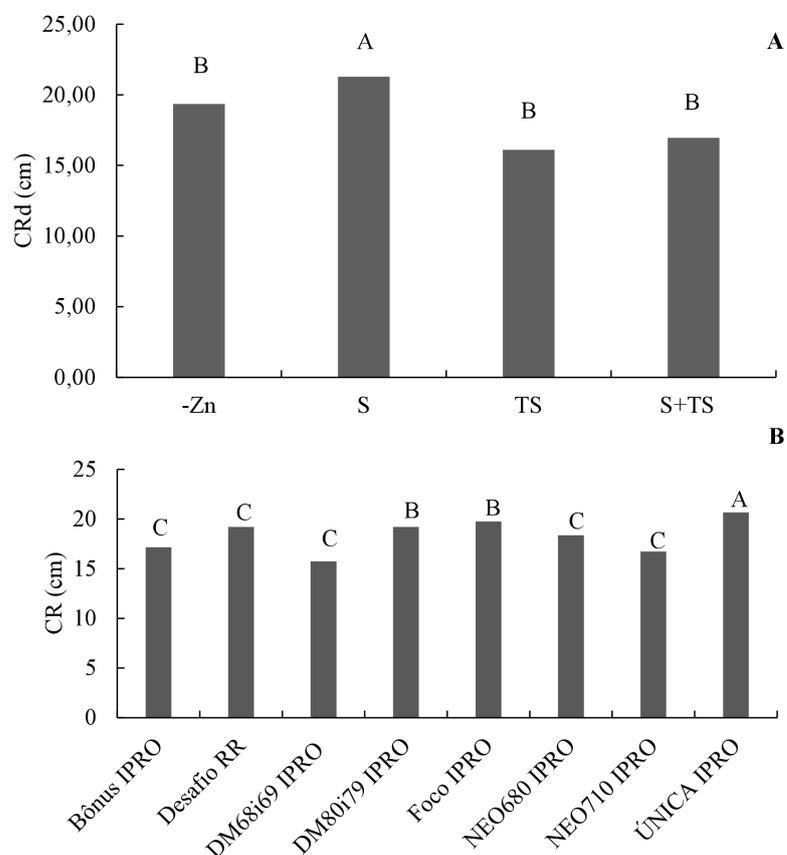


Figura 3 - Comprimento de radícula (CRd) da soja cultivada em função de diferentes formas de aplicação de Zn e dos cultivares em Rio Verde – GO. Letras iguais não diferem pelo teste de Skott-Knott a $p \leq 0,05$.

A interação entre as fontes de variação foi significativa para as características altura de plântula (API) e poder germinativo (Tabela 3). Avaliando o fornecimento de Zn dentro dos cultivares, observa-se que não aplicar Zn ou fornecê-lo em solução (S) proporcionaram as maiores API nos cultivares Bônus e Única. O fornecimento isolado na S favoreceu o

crescimento das plântulas no cultivar DM80i79 e o TS isolado no cultivar NEO 680 foi maior no cultivar DM80i79. O fornecimento no TS e S+TS proporcionou as maiores APIs no cultivar Desafio. O cultivar Foco foi o único que não foi influenciado pelas formas de fornecimento de Zn. Em estudo com sementes de arroz e trigo, Prado et al. (2007) mencionam que o Zn tem papel fundamental durante o crescimento inicial das plântulas, pois grande quantidade do micronutriente nas sementes pode exercer efeito protetor a patógenos do solo, incluindo a infestação radicular dos nematoides. Além disso, a presença do Zn nas sementes contribui para tolerância das plântulas a estresses abióticos (CAKMAK, 2005).

TABELA 3 - Altura de plântula (API) e poder germinativo de cultivares de soja cultivados em função de formas de aplicação de zinco em Rio Verde – GO

Cultivar	Forma de aplicação				Média
	-Zn	Zn S	Zn TS	Zn S+TS	
			API (cm)		
BÔNUS IPRO	9,97 Aa	9,68 Aa	8,32 Bb	6,58 Cc	8,54 a
DESAFIO RR	8,23 Ba	9,18 Aa	6,25 Bc	9,12 Aa	8,19 a
DM68i69 IPRO	7,42 Bb	8,07 Ab	6,35 Cc	7,29 Cb	7,28 b
DM80i79 IPRO	7,91 Bb	8,88 Aa	9,70 Aa	8,45 Ba	8,73 a
FOCO IPRO	8,32 b	8,28 b	8,85 b	7,99 b	8,36 a
NEO 680 IPRO	8,25 Ba	8,42 Ba	7,35 Bc	8,86 Aa	8,22 a
NEO710 IPRO	8,50 Ab	7,72 Ba	6,55 Bc	7,07 Cb	7,46 b
ÚNICA IPRO	9,15 Aa	9,51 Aa	6,97 Cc	7,96 Bb	8,39 a
Média	8,42 A	8,71 A	7,54 C	7,91 B	
			Germinação (%)		
BÔNUS IPRO	91,25 Aa	88,75 Aa	61,25 Bc	50,00 Bb	72,81 c
DESAFIO RR	86,25 Aa	92,50 Aa	73,75 Bb	75,00 Ba	81,88 b
DM68i69 IPRO	63,75 Ab	70,00 Ab	45,00 Bd	50,00 Bb	57,19 d
DM80i79 IPRO	92,50 a	97,50 a	98,75 a	78,75 b	91,89 a
FOCO IPRO	98,75 a	93,75 a	85,00 b	83,75 a	90,31 a
NEO 680 IPRO	83,75 a	82,50 a	83,75 b	78,75 a	82,19 b
NEO710 IPRO	91,25 Aa	90,00 Aa	67,50 Bc	60,00 Bc	77,19 b
ÚNICA IPRO	98,75 Aa	88,75 Aa	82,50 Bb	88,75 Ab	89,69 a
Média	88,28 A	87,97 A	74,69 B	70,63 B	

Letras maiúsculas nas linhas (formas de fornecimento de Zn) e minúsculas nas colunas (cultivares) iguais não diferem pelo teste de Skott-Knott a $p \leq 0,05$.

Observando o efeito dos cultivares em cada forma de fornecimento de Zn verifica-se que os com maiores API foram Bônus, Desafio, NEO 680 e 710 e Única no tratamento (-Zn). Isto se deve à expressão genética dos cultivares sem interferência do Zn. A influência do Zn sobre os cultivares, quando fornecidos em solução, tem-se os cultivares Bônus, Desafio, DM80i79, NEO 680 e 710 e Única com plântulas mais altas e o fornecimento por TS resultou em plântulas maiores no cultivar DM80i70. Quando o Zn foi fornecido, associando-se o

fornecimento em S + TS, as plântulas maiores ocorreram nos cultivares Desafio, DM 80i79 e NEO 680. As diferenças genéticas inerentes aos cultivares de soja imprimem a eles características fenotípicas distintas em função das condições ambientais (clima e solo) a que estes materiais genéticos são expostos (CRAUFURD et al., 2013).

Com relação ao poder germinativo, percebe-se que os cultivares obtiveram desempenho diferenciado na resposta ao fornecimento de Zn e em cada forma de fornecimento do micronutriente (Tabela 3). Avaliando-se as formas de fornecimento do Zn em cada cultivar, destaca-se que somente o tratamento S foi capaz de manter o potencial germinativo das sementes quando comparado com o tratamento -Zn.

O fornecimento de Zn por TS ou S+TS reduziu o poder germinativo dos cultivares, com exceção dos materiais genéticos DM 80i79, Foco e NEO 680, que não foram influenciados pelas diferentes formas de fornecimento do Zn. Este resultado mostra que estes cultivares possivelmente podem ser posicionados em áreas com maior teor de Zn no solo e pode-se associar outras formas de fornecimento do micronutriente visando biofortificação dos grãos. Entretanto, Prado et al. (2007), em estudos envolvendo sementes de arroz e trigo, mencionam que, em função do zinco ser acelerador do crescimento da radícula, ele tem importante papel durante a germinação das sementes e no crescimento inicial das plântulas, já que uma grande quantidade de Zn presente nas sementes pode exercer efeitos protetores contra patógenos do solo e contra infestação radicular de nematoides, além de contribuir para tolerância a estresses abióticos (CAKMAK, 2005).

Observando-se o desempenho dos cultivares em cada forma de fornecimento do micronutriente, verifica-se que nos tratamentos -Zn e S somente o cultivar DM68i69 apresentou baixo poder germinativo, 63,75 no -Zn e 70% no S. O fornecimento do Zn por TS mostrou o maior e menor percentual de germinação nos cultivares DM, sendo o DM 80i70 o que obteve maior % entre todos os cultivares testados (98%) e o DM68i69 o menor, 45%. Onde o Zn foi fornecido combinando-se S+TS, houve destaque no poder de germinação dos cultivares Desafio (75%), Foco (~84%) e NEO 680 (~79%). Estes cultivares apresentaram a maior % de germinação, diferindo os demais cultivares, porém, sendo estatisticamente iguais entre eles. O cultivar NEO 710 foi o que apresentou menor poder de germinação, %. Possivelmente, a maior quantidade de Zn fornecida pelos tratamentos S e TS e na associação possam explicar a redução na germinação destes cultivares, indicando sensibilidade destes materiais genéticos ao micronutriente. Porém, cabe ressaltar que as respostas fenotípicas dos cultivares são resultados da interação entre os componentes genéticos e ambientais (CRAUFURD et al., 2013. TEICHER, 2014).

No CR, embora não significativas, as médias apresentaram oscilações. No que se refere às médias do fornecimento de Zn, observou-se raízes de 45,36 a 50,88 cm. Comparando-se as médias entre os cultivares de soja, esta variação foi maior, obtendo-se CR de 41,93 a 56,26 cm. Resultados semelhantes foram observados para MSR. Entre as formas de aplicação de Zn, as médias dos cultivares foram de 1,28 a 1,71 g e, comparando-se a MSR entre cultivares, a variação foi de 1,03 a 1,67 g (Tabela 4).

TABELA 4 - Comprimento e massa seca de raiz (CR e MSR) nos cultivares de soja cultivados em função de formas de aplicação de zinco em Rio Verde – GO

Cultivar	Forma de aplicação				Média
	-Zn	Zn S	Zn TS	Zn S+TS	
CR (cm)					
BÔNUS IPRO	39,90	48,23	45,80	45,30	44,80
DESAFIO RR	55,38	40,78	61,50	39,93	49,39
DM68i69 IPRO	39,18	45,65	42,33	51,23	44,59
DM80i79 IPRO	56,60	47,95	55,90	59,08	54,88
FOCO IPRO	42,85	44,88	66,13	55,83	52,42
NEO 680 IPRO	41,80	41,13	31,68	53,13	41,93
NEO710 IPRO	42,93	50,80	43,75	46,93	46,10
ÚNICA IPRO	55,15	43,40	54,83	55,65	56,26
Média	46,72	45,35	50,24	50,88	
MSR (g)					
BÔNUS IPRO	2,06	1,86	1,82	0,89	1,66
DESAFIO RR	1,81	1,34	1,21	1,37	1,43
DM68i69 IPRO	1,88	1,35	0,95	0,70	1,22
DM80i79 IPRO	1,39	1,92	1,57	1,80	1,67
FOCO IPRO	1,16	1,98	1,82	1,19	1,54
NEO 680 IPRO	1,38	1,71	1,56	1,05	1,42
NEO710 IPRO	0,98	1,67	0,86	1,71	1,03
ÚNICA IPRO	1,84	1,85	1,46	1,51	1,66
Média	1,56	1,71	1,41	1,28	

Conforme mencionado, as formas de fornecimento do Zn para a soja influenciaram na altura da parte aérea (APA), massa seca da parte aérea (MSPA) e massa seca de nódulos (MSN), sendo estas diferenças apresentadas na Figura 4. As plantas que não receberam Zn (-Zn), ou este foi fornecido no tratamento de sementes (Zn TS), acarretaram em plantas de soja mais altas (Figura 4A), na ordem de 26 (TS) e 28 cm (-Zn). A MSPA (Figura 4B) das plantas de soja foi maior no tratamento -Zn (3,96 g), seguido pelo fornecimento de Zn TS (3,35 g). Este resultado está coerente com a altura de plantas. O fornecimento de Zn em solução, TS e a associação de ambos proporcionaram aumento de Zn para os cultivares quando comparados ao tratamento -Zn. Este micronutriente, em teores altos no solo, normalmente encontra-se

disponível para absorção. Isto pode resultar em plantas de porte reduzido e com raízes mais curtas (TEICHER, 2014).

A MSN apresentou resultados semelhantes à APA, onde as plantas que não receberam Zn e as que receberam em TS apresentaram-se maiores que os fornecimentos de Zn em solução (Zn S) e Zn S+TS (Figura 4C).

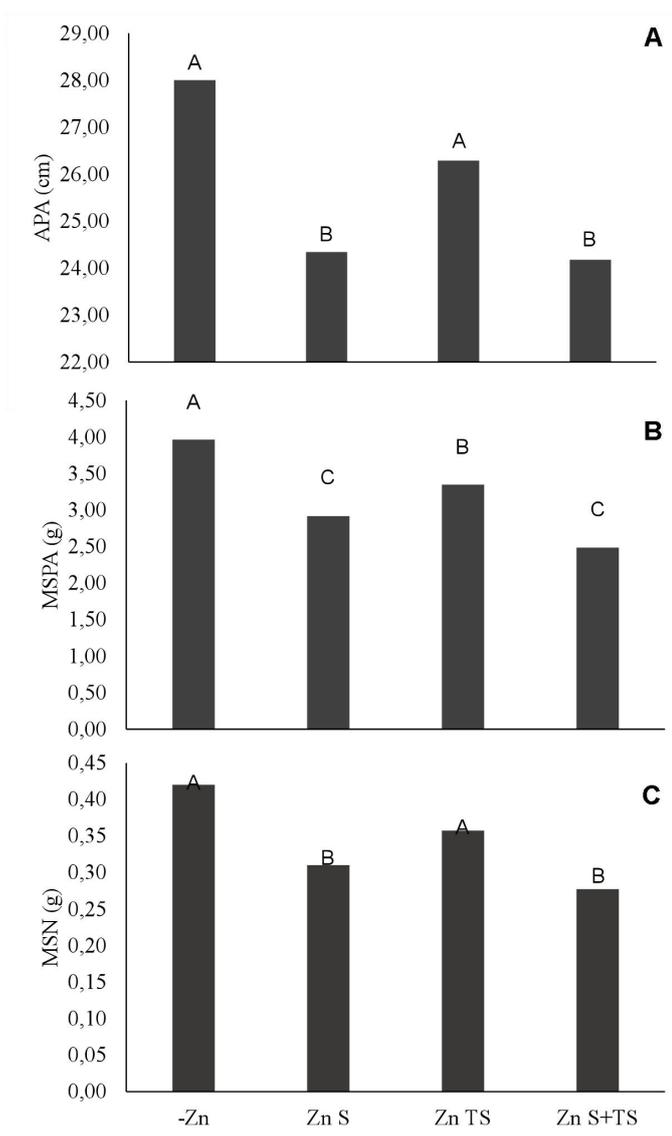


Figura 4 - Altura da parte aérea (A), massa seca da parte aérea (B) e massa seca de nódulos (C) de cultivares de soja cultivados em função de formas de aplicação de zinco em Rio Verde – GO. Letras iguais não diferem pelo teste de Skott-Knott a $p \leq 0,05$.

O efeito das médias das formas de fornecimento do Zn sobre os diferentes cultivares de soja podem ser observados na Figura 5. O cultivar Bônus IPRO apresentou plantas de soja mais altas (29,73 cm), diferindo-se dos demais cultivares, segundo o teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade (Figura 5A). Acredita-se que este resultado esteja associado às

características genéticas inerentes ao cultivar Bônus, pois Kobraee, Shamsi e Ekhtiari, (2011) mostraram que a altura das plantas de soja não foi afetada pela aplicação de zinco.

A MSPA pode ser dividida em dois grupos em função do teste de médias. O grupo com maior MSPA foi composto pelos cultivares DM80i79 IPRO (4,09g), Bônus IPRO (3,65g), Desafio RR (3,42g) e Única IPRO (3,28g). Tais materiais destacaram-se dos demais, porém entre eles não houve diferença (Figura 5B).

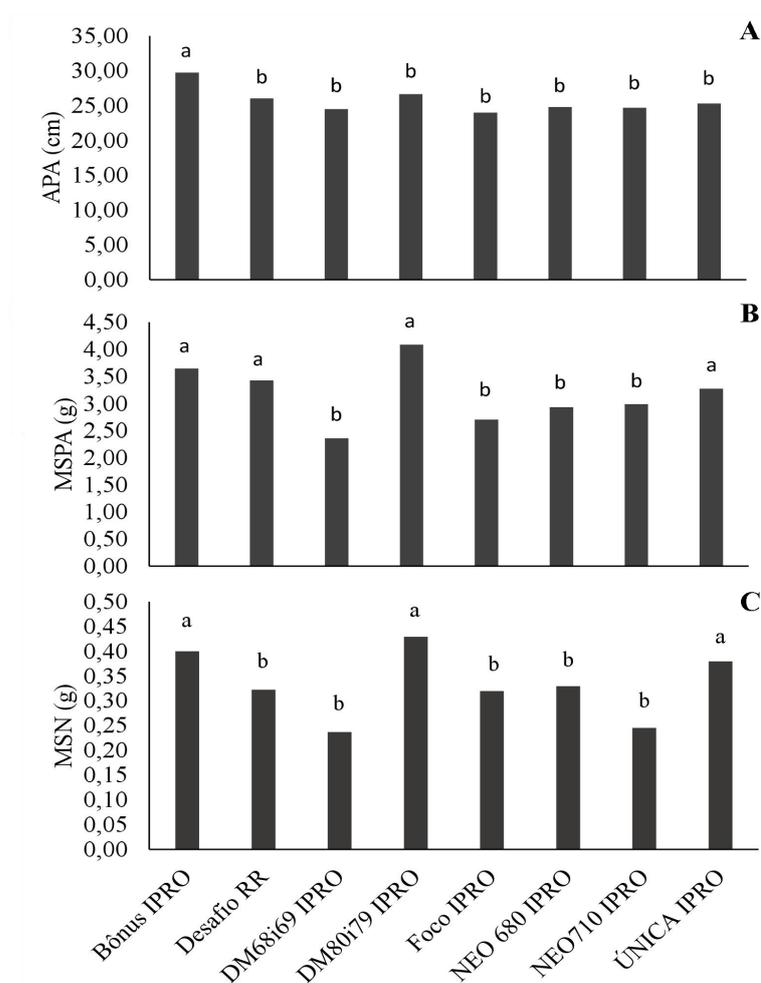


Figura 5 - Altura da parte aérea (A), massa seca da parte aérea (B) e massa seca de nódulos (C) de soja cultivada com diferentes formas de aplicação de Zn em função dos cultivares em Rio Verde – GO. Letras iguais não diferem pelo teste de Skott-Knott a $p \leq 0,05$.

As maiores MSN foram encontradas nos cultivares DM80i79 IPRO (0,43g), Bônus IPRO (0,40g) e Única IPRO (0,38g). Tais materiais genéticos não apresentaram diferenças entre si, entretanto, diferiram dos demais (Figura 5C).

A característica número de nódulos (NN) apresentou significância na interação dos fatores forma de fornecimento do Zn com os cultivares de soja (Tabela 5). Observa-se que o fornecimento ou não do Zn apresentou efeito significativo para os materiais Bônus IPRO, DM68169 IPRO e NEO710 IPRO. O tratamento -Zn favoreceu a nodulação do cultivar Bônus (36 nódulos), diferindo-o dos demais materiais genéticos. Com relação ao DM68169, os tratamentos -Zn e Zn TS foram os que proporcionaram maior NN nas plantas, sendo estes de 34 e 30,67 nódulos. Já o cultivar NEO 710 obteve maior NN no fornecimento de Zn S+TS (31,75 nódulos) e Zn S (25,25 nódulos). Kobraee, Shamsi e Ekhtiari (2011) também obtiveram diferenças no número de nódulos da soja com a aplicação de Zn. Os autores mostraram que aplicações de até 4 mg kg⁻¹ aumentaram o número de nódulos e quantidades maiores do micronutriente proporcionaram redução da nodulação.

Tabela 5 - Número de nódulos (NN) dos cultivares de soja cultivados em função de formas de aplicação de zinco em Rio Verde – GO

Cultivar	Forma de aplicação				Média
	-Zn	Zn S	Zn TS	Zn S+TS	
BÔNUS IPRO	36,50 Aa	22,50 Bb	28,75 B	22,25 Bb	27,50 a
DESAFIO RR	19,00 b	18,25 b	19,50	16,25 b	18,25 b
DM68i69 IPRO	34,00 Aa	22,33 Bb	30,67 A	15,75 Bb	25,71 a
DM80i79 IPRO	21,00 b	33,75 a	21,75	27,25 a	25,94 a
FOCO IPRO	28,25 a	16,00 b	19,50	18,75 b	20,63 b
NEO 680 IPRO	30,00 a	25,50 b	32,75	21,50 b	27,44 a
NEO710 IPRO	15,50 Bb	25,25 Ab	19,75 B	31,75 Aa	23,06 b
ÚNICA IPRO	28,00 a	32,00 a	36,00	29,25 a	31,31 a
Média	26,53	24,46	26,08	22,84	

Letras maiúsculas nas linhas (formas de fornecimento de Zn) e minúsculas nas colunas (cultivares) iguais não diferem pelo teste de Skott-Knott a p≤0,05.

Ainda na Tabela 5, comparando-se o efeito de cada dose sobre os oito cultivares de soja estudados, verifica-se que, no tratamento -Zn, somente os cultivares DM80i79 IPRO e NEO710 IPRO diferiram dos demais. Entretanto, estes foram os materiais genéticos que menos nodularam. Avaliando o fornecimento de Zn via solução nutritiva (Zn S), percebe-se que os cultivares DM80i79 IPRO e ÚNICA IPRO destacaram-se dos demais por apresentarem maior NN, sendo estes de 33,75 e 32,00 nódulos.

Os cultivares DM80i79 IPRO, NEO710 IPRO e ÚNICA IPRO foram os que mais nodularam quando o tratamento adotado foi Zn S+TS. Os resultados obtidos foram, respectivamente, de 27,25; 31,75 e 29,25 nódulos. Por fim, quando o fornecimento de Zn

ocorreu via TS, não houve efeitos significativos na nodulação das plantas de soja nos cultivares estudados.

A forma de fornecimento do Zn influenciou no teor do micronutriente no tecido vegetal (Figura 6). Observa-se que a média dos oito cultivares avaliados variou entre 49,20 a 63,59 mg kg⁻¹ de Zn na parte aérea da soja. Entretanto, quando o Zn foi fornecido na solução e associado ao tratamento de sementes (S+TS), obteve-se o maior teor de Zn foliar. Os demais tratamentos foram inferiores, porém não diferiram estatisticamente entre si.

De acordo com Fageria (2009), na planta, sendo o Zn considerado pouco móvel no floema, ocorrem certas restrições ao acúmulo do elemento nos frutos, sementes e tubérculos, diferentemente das hortaliças folhosas, que apontam maiores teores de Zn nas suas partes aéreas, as quais são comestíveis, uma vez que as concentrações de Zn nos tecidos dessas hortaliças são limitadas somente por efeitos de fitotoxicidade (WHITE; BROADLEY, 2010). Apesar disto, Drissi et al. (2015), ao avaliar diferentes doses de sulfato de Zn via adubação foliar na cultura do milho para silagem, identificaram que a adubação aumentou o teor de Zn nos tecidos do milho, alterando o crescimento médio das plantas e o rendimento de silagem.

O teor de Zn no tecido vegetal oscila de 3 a 150 mg kg⁻¹ de matéria seca, observando que, nas folhas, concentrações menores que 25 mg kg⁻¹ podem indicar deficiência nutricional (FERNANDES; SOUZA; SANTOS, 2018). Como mencionado, a carência de Zn nas culturas pode acarretar em diminuição da síntese proteica, tendo como resultado menor produtividade e qualidade nutricional do produto colhido. Observa-se que os principais sintomas visuais de deficiência de Zn nas plantas são: crescimento limitado, folhas novas mal conformadas e pequenas, clorose internerval nas folhas novas, entre nós curtos, folhas novas em formato de roseta e necrose do meristema apical da raiz (MARENCO; LOPES, 2009).

No teor de Zn raiz é possível observar que a fonte de variação fornecimento de zinco influenciou a característica (Figura 6B). Todos os tratamentos foram influenciados pela forma de fornecimento do Zn, entretanto, não diferiram entre si. Sendo que o tratamento Zn S + TS foi o que obteve maior concentração do elemento.

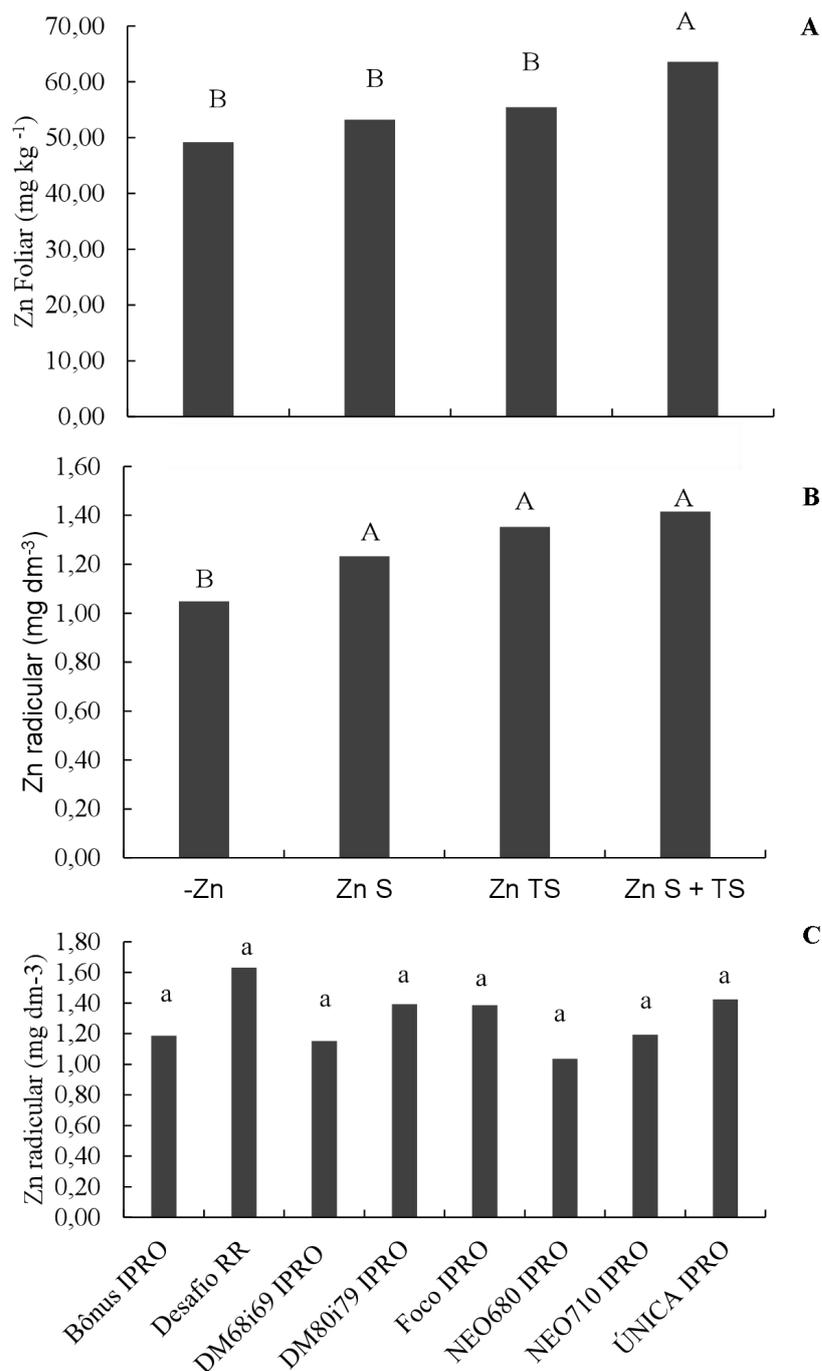


Figura 6 - Zn foliar (A) e radicular (B e C) em cultivares de soja cultivados em função de formas de aplicação de zinco em Rio Verde – GO. Letras iguais não diferem pelo teste de Skott-Knott a $p \leq 0,05$.

Na fonte de variação cultivar (Figura 6C), todos os materiais genéticos foram influenciados, entretanto, não diferiram estatisticamente entre si. Porém, os cultivares Desafio RR, ÚNICA IPRO, DM80i79 e Foco IPRO foram os que apresentaram, na média, maior teor do micronutriente.

Diversos trabalhos demonstram a eficiência da biofortificação agrônômica com Zn em diversas culturas produtoras de grãos (CAKMAK; PFEIFFER; MCCLAFFERTY, 2010; MAO et al., 2014). Mao et al. (2014) observaram, ao avaliar os efeitos da adubação via solo e foliar com variedades de culturas na região Central do Planalto Loess, China, que a adubação de Zn via foliar foi mais eficiente que a adubação no solo, no que diz respeito ao aumento na concentração de Zn na planta.

Os resultados de pesquisa publicados, assim como os obtidos neste trabalho, deixam evidente a influência do Zn na germinação e crescimento inicial de plântulas e radículas de maneira específica para cada cultivar.

Conforme os resultados obtidos e os trabalhos disponíveis na literatura, verifica-se que o Zn apresenta influências sobre a biometria das plantas. Isto ficou evidente neste estudo com diferentes cultivares de soja. Entretanto, é necessário relacionar as respostas encontradas com outras variáveis que auxiliem no entendimento do comportamento bioquímico e fisiológico dos cultivares de soja para que se possa selecionar materiais genéticos com aptidão para serem testados em programas de biofortificação de grãos, visando a produção de alimentos funcionais à base de soja.

5 CONCLUSÃO

Fornecer Zn por meio de solução nutritiva favoreceu a altura de plântulas e o potencial germinativo para a maioria dos cultivares estudados.

O maior comprimento de radícula na média dos oito cultivares avaliados ocorreu com o fornecimento de Zn por solução nutritiva, sendo o cultivar de soja Única o que apresentou radícula mais longa.

A nodulação da soja foi maior no cultivar DM68169 IPRO com fornecimento de Zn no tratamento de sementes (TS) e no NEO 710 IPRO quando houve fornecimento do micronutriente em solução isoladamente ou associado ao TS.

A matéria seca da parte aérea e o teor do Zn na soja foram influenciados pelas formas de fornecimento do Zn e pelo material genético dos cultivares.

O Zn foliar foi maior com fornecimento do micronutriente na solução associado ao tratamento de sementes (S+TS).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As informações levantadas neste trabalho de pesquisa mostram a complexidade do tema e a necessidade de relacionar outras variáveis que proporcionem melhor entendimento do desenvolvimento dos cultivares de soja. Assim, quando estas informações estiverem consolidadas, permitirão selecionar cultivares de soja para serem testados em programas de biofortificação de grãos para que futuramente se possa produzir alimentos funcionais à base de soja.

REFERÊNCIAS

BOLDRIN, P. F.; FAQUIN, V.; RAMOS, S. J.; GUILHERME, L. R. G.; BASTOS, C. E. A.; Carvalho, G. S.; COSTA, E. T. S. Selenato e selenito na produção e biofortificação agrônômica com selênio em arroz. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, p. 831-837, 2012

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.

BRASIL. Ministério da Saúde. Pesquisa Nacional de Demografia e Saúde da Criança e da Mulher – PNDS 2006: dimensões do processo reprodutivo e da saúde da criança. Ministério da Saúde, Centro Brasileiro de Análise e Planejamento, Brasília, 2009. 300 p.

CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? **Plant and Soil**, 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. The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v.168, p.521-530, 2005.

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

CAMARGO, O. A. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. 244 p.

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.

CARVALHO, S. M.; VASCONCELOS, M.W. Producing more with less: Strategies and novel Technologies for plant-based food biofortification. **Food Research International**, v. 53, n. 1, p. 961-971, 2013.

CESB. 2016. Comitê Estratégico de Soja Brasil. Disponível em: <<http://www.cesbrasil.org.br/>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2017.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 8, safra 2020/21, n. 10, décimo primeiro levantamento, agosto. 2021. Disponível em: www.conab.gov.br.

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

CORGUINHA, A. P. B; CARVALHO, C. A; DE SOUZA, G. A; DE CARVALHO, T. S; VIEIRA, E. A; FIALHO, J. F; GUILHERME, L. R. G. Potential of cassava clones enriched with β -carotene and lycopene for zinc biofortification under different soil Zn conditions. **Journal of the science of food and agriculture**, v. 99, p. 666-674, 2019.

CRAUFURD, P. Q.; VADEZ, V.; JAGADISH, S. V. K.; PRASAD, P. V. V.; ZAMANALLAH, M. Crop science experiments designed to inform crop modeling. **Agriculture and Forestry Meteorology**, v. 170, p. 8-18, 2013.

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.

DE OLIVEIRA, V. C.; FAQUIN, V.; ANDRADE, F. R.; CARNEIRO, J. P.; DA SILVA JÚNIOR, E. C.; DE SOUZA, K. R. D.; PEREIRA, J.; GUILHERME, L. R. G. Physiological and Physicochemical Responses of Potato to Selenium Biofortification in Tropical Soil. **Potato research**, v. 000, p. 000-000, 2019.

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

DRISSI, S.; AÏT HOUSSA, A.; BAMOUH, A.; BENBELLA, M. Corn silage (*Zea mays* L.) response to zinc foliar spray concentration when grown on sandy soil. **J. Agric. Sci.**, v. 7, p. 68-79, 2015.

FAGERIA, N. K. **The Use of Nutrients in Crop Plants**. Boca Raton, FL: CRC Press. 2009. p. 105.

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.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED ATIONS. FAOSTAT. 2015.

FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. **Nutrição Mineral de Plantas**. 2 ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2018.

FERREIRA, D.F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 20

FRIEDMAN, M.; BRANDON, D.L. Nutritional and health benefits of soy proteins. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v. 49, n.3, p. 1069-1086, 2001.

GENOVESE, M.I.; LAJOLO, F.M. (2001). Determinação de isoflavonas em derivados de soja. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.21, n.1, p.86-93.

GIBSON, R.S. Zinc: the missing link in combating micronutrient malnutrition in developing countries. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 65, n. 01, p. 51-60, 2006.

GODFRAY, H. C. J.; BEDDINGTON, J. R.; CRUTE, I. R.; HADDAD, L.; LAWRENCE, D.; MUIR, J.F.; PRETTY, J.; ROBINSON, S.; THOMAS, S.M.; TOULMIN, C. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 812- 818, 2010.

GONÇALVES, A. S. F.; PINHO, R. G. V.; GUILHERME, L. R. G.; FURTADO, J. E. B.; PEREIRA, F. DE C. Foliar feeding with zinc as a biofortification strategy in maize. **Revista brasileira de milho e sorgo** (ONLINE), v. 18, p. 281-289, 2019.

GRAHAM, R.; SENADHIRA, D.; BEEBE, S.; IGLESIAS, C.; MONASTERIO, I. Breeding for micronutrient density in edible portions of staple food crops: conventional approaches. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 60, n. 1, p. 57–80, 1999.

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

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.

GRAHAM, R.D.; WELCH, R.M.; SAUNDERS, D.A.; ORTIZ-MONASTERIO, I.; BOUIS, H.E.; BONIERBALE, M.; HAAN, S.; BURGOS, G.; THIELE, G.; LIRIA, R.; MEISNER, C.A.; BEEBE, S.E.; POTTS, M.J.; KADIAN, M.; HOBBS, P.R.; GUPTA, R. K.; TWOMLOW, S. Nutritious subsistence food systems. **Advances in Agronomy**, v.92, p. 1-74, 2007.

GUILHERME, L. R. G.; ÁVILA, F. W.; Li, Li; YANG, Y.; FAQUIN, V.; RAMOS, S. J.; THANNHAUSER, T. W. Impact of Selenium Supply on Se-Methylselenocysteine and Glucosinolate Accumulation in Selenium-Biofortified Brassica Sprouts. In: ASA, CSSA, & SSSA International Annual Meetings - Grand Challenges, Great Solutions, 2014, Long Beach, CA. ASA, CSSA, & SSSA **International Annual Meetings** - Grand Challenges, Great Solutions, 2014.

HARVESTPLUS. Disponível em: www.harvestplus.org

HOAGLAND, D.R., AND D.I. ARNON. The water-culture method for growing plants without soil. Calif. Agric. Exp. St., Circ. 347 (Revised by D.I. Arnon), , 1950.

HOTZ, C.; BROWN, K. H. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations. **Food and Nutrition Bulletin**, v.25. n.1, p. 130-162, 2004.

INOCÊNCIO, M. F. **Frações de zinco no solo e biofortificação agronômica com selênio, ferro e zinco 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.

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.

KOBRAEE, S; SHAMSI, K.; EKHTIARI, S. Soybean nodulation and chlorophyll concentration (SPAD value) affected by some of micronutrients. **Annals of Biological Research**, v. 2, n. 2, p. 414-422, 2011.

KOURY, J. C.; DONANGELO, C. M. (2003). Zinco, estresse oxidativo e atividade física. **Revista de Nutrição**, 16(4), 433–441.

LARA, T. S.; DE LIMA, J. H. L.; DE SOUZA, K. R. D.; CORGUINHA, A. P. B.; MARTINS, F. A. D.; LOPES, G.; GUILHERME, L. R. G. Selenium biofortification of wheat grain via foliar application and its effect on plant metabolism. **Journal of food composition and analysis**, v. 81, p. 10-18, 2019.

LAURETT, L. **Cultivo hidropônico de alface e rúcula com diferentes concentrações de ferro visando a biofortificação**. 2015. 59f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Espírito Santo, São Mateus, 2015.

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.

MARENCO, R.A.; LOPES N.F. 2009. Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. 3ªed. Editora UFV, Viçosa. 486p.

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, 3.1.; COX, F.R.; SHUMAN, L.M.; WELCI-I, R.M. (Eds.). **Micronutrients in agriculture**. 2.ed. Madison: Soil Science Society of America, 1991. p. 549-592.

MARTINS, F. A. D.; CORGUINHA, A. P. B.; LESSA, J.H.L.; RIBEIRO, P. G.; GUILHERME, LRG. Biofortificação do arroz: chave para melhorar a qualidade do produto e a saúde da população. **Informe agropecuário**, v. 39, p. 17-28, 2018

MESSINA, M. (2004). La soja: valor nutricional y rol en la prevención y tratamiento de enfermedades crônicas. In: **Série de informações especiais ILSI Argentina**, p.30-40.

MESSINA, M. J., LOPRINZI, C.L. (2001). Soy for breast cancer survivors: a critical review of the literature. **Journal of Nutrition**, v. 131, p. 3095S-3108S.

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

NUTTI, M.R. Progress of Publications and Communications of the HarvestPlus Project in Brazil. **HarvestPlus agreement 6332 finais report**, July 2015.

OLIVEIRA, V. C.; FAQUIN, V.; GUIMARAES, K. C.; ANDRADE, F. R.; PEREIRA, J.; GUILHERME, LRG. Agronomic biofortification of carrot with selenium. **Ciência e agrotecnologia (ONLINE)**, v. 42, p. 138-147, 2018.

PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M.; MOURO, M. C. Acúmulo de nutrientes na parte aérea do milho cv. P30K75 em função da aplicação de fontes de zinco via semente. **Revista de Agricultura, Piracicaba**, v.82, p.127-133, 2007.

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

RAMOS, S. J.; FAQUIN, V.; ALMEIDA, H. J. DE; ÁVILA, F. W.; GUILHERME, L. R. G.; BASTOS, C. E. A.; ÁVILA, P. A. Selenato e selenito na produção, nutrição mineral e biofortificação com selênio em cultivares de alface. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1347-1355, 2011.

SANTOS, E.B, AMANCIO, O.M, OLIVA, C.A. Estado nutricional, ferro, cobre e zinco em escolares de favelas da cidade de São Paulo. **Revista da Associação Médica Brasileira** 2007; 53:323-8

SBCS. **A Biofortificação em Debate**. Boletim informativo: ISSN 1981-979X, Volume 42, N. 2, 2016

SILVA, F.C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e - 2. ed.** Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2009, 627 p.

SIMS, J. L.; PATRICK, J. W. H. The distribution of micronutrient cations in soil under conditions of varying redox potential and pH. **Soil Science Society American Journal**, Washington, v. 42, p. 258-262, 1978.

TIECHER, T. L. **Alterações fisiológicas em milho cultivado em solo com alto teor de cobre e submetido à aplicação de zinco**. 2014. 44 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

UNICEF. Crianças, alimentação e nutrição – Crescendo saudável em um mundo em transformação. **Situação Mundial da Infância, 2019**. Disponível em: www.unicef.org

URANTI, M. Grain legume proteins and nutraceutical properties. (2006). **Fitoterapia**, v. 77, p. 67- 82.

VELU, G.; SINGH, R.P.; HUERTA-ESPINO, J.; PEÑA, R.J. ARUN, B.; MAHENDRU-SINGH, A.; YAQUB MUJAHID, M.; SOHU, V.S.; MAVI, G.S.; CROSSA, J.; ALVARADO, G.; JOSHI, A.K.; PFEIFFER, W.H. Performance of biofortified spring wheat genotypes in target environments for grain zinc and iron concentrations. **Field Crops Research**, v. 137, p. 261-267, 2012.

WADA, O. What are Trace Elements? — Their deficiency and excess states. **Jpn Med Assoc J**, v.47, n.5, 351, 2004.

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

WELCH, R.M. Linkages between trace elements in food crops and human health In: **Micronutrient deficiencies in global crop production**. Springer Netherlands, 2008. p. 287-309.

WELCH, R.M. Micronutrients, agriculture and nutrition: linkages for improved health and well-being. Perspectives on the micronutrient nutrition of crops. **Jodhpur, India: Scientific Publishers**, p. 247-289, 2001.

WELCH, R.M.; COMBS, G.F.; DUXBURY, J.M. Toward a “greener” revolution. **Issues in Science and Technology**, v. 14, n. 1, p. 50-58, 1997.

WELCH, R.M.; GRAHAM, R.D. New paradigm for world agriculture: meeting human needs. Productive, sustainable nutritious. **Field crops research**, v. 60, n. 1, p. 1-10, 1999.

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. Biofortifying crops with essential mineral elements. **Trends in Plant Science**, v.10, p. 586-593, 2005.

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.

WHO. **Global Database on Child Growth and Malnutrition**. Geneva, World Health Organization, 1997

WILLINGHOFER, R., O. **Toxicidade de cádmio na cultura da soja** 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, p. 5322-5328, 2004.