

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - CAMPUS BAMBUÍ
BACHARELADO EM AGRONOMIA

ANA CLARA NUNES DE VASCONCELOS

**ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO VISANDO À BIOFORTIFICAÇÃO COM
ZINCO EM GRÃOS DE FEIJÃO DA CULTIVAR CARIOCA BRS MG Uai**

BAMBUÍ- MG

2023

ANA CLARA NUNES DE VASCONCELOS

**ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO VISANDO À BIOFORTIFICAÇÃO COM
ZINCO EM GRÃOS DE FEIJÃO DA CULTIVAR CARIOCA BRSMG Uai**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso Bacharelado em Agronomia do Instituto Federal de Minas Gerais - *Campus* Bambuí para obtenção do grau de bacharela em Agronomia.

Orientadora: Dra. Ana Cardoso Clemente
Filha Ferreira de Paula.

BAMBUÍ- MG

2023



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
Campus Bambuí
Diretoria de Ensino
Departamento de Ciências Agrárias
Faz. Virgínia - Rodovia Bandeira-Mulheres - Km 05 - Caixa Postal 85 - CEP 39900-000 - Bambuí - MG
37 3611 4000 - www.ifmg.edu.br

DECLARAÇÃO

ESTRATÉGIAS DE ADUBAÇÃO VISANDO A BIOFORTIFICAÇÃO COM ZINCO EM GRÃOS DE FEIJÃO DO CULTIVAR CARIOCA BRS MG Uai

Aluna: Ana Clara Nunes de Vasconcelos

Data de aprovação: 19 / 06 / 2023

Banca examinadora:

Orientadora: Prof. Dr^a. Ana Cardoso Clemente Filha Ferreira de Paula – IFMG/Campus Bambuí

Membro: Dr. Fábio Aurélio Dias Martins - Pesquisador EPAMIG Sul - Campo Experimental de Lavras - MG

Membro: Prof. Dr. Fábio Pereira Dias – IFMG/Campus Bambuí

Bambuí, 24 de junho de 2023.



Documento assinado eletronicamente por **Ana Cardoso Clemente Filha Ferreira de Paula, Professora**, em 27/06/2023, às 11:28, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Fábio Pereira Dias, Professor**, em 27/06/2023, às 12:54, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por **Fábio Aurélio Dias Martins, Usuário Externo**, em 27/06/2023, às 18:02, conforme Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.



A autenticidade do documento pode ser conferida no site <https://sei.ifmg.edu.br/consultadocs> informando o código verificador **1593181** e o código CRC **5F07E621**.

Catálogo na Fonte Biblioteca IFMG - Campus Bambuí

V331e Vasconcelos, Ana Clara Nunes de.
Estratégias de adubação visando à biofortificação com zinco em grãos de feijão da cultivar carioca BRS mg Uai. / Ana Clara Nunes de Vasconcelos. – 2023.
29 f.; il.: color.

Orientadora: Dra. Ana Cardoso Clemente Filha Ferreira de Paula.
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG, Curso Bacharelado em Agronomia, 2023.

1. Zinco. 2. Feijoeiro-comum. 3. Desnutrição. I. Paula, Ana Cardoso Clemente Filha Ferreira de. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus Bambuí, MG. III. Título.

CDD 681.81

AGRADECIMENTOS

O primeiro agradecimento é para Deus, que me auxiliou em todo o percurso; eu nada seria sem sua força a me guiar, nem mesmo conseguiria escrever essa mensagem. Obrigada, Pai, sou grata a tudo que encaminha a mim.

Agradeço a toda a minha família; meus pais, Gilberto e Maria Sônia; meus irmãos, Fernanda e Modesto; meu cunhado, Marcelo; meu primo, Bruno, agradeço por acreditarem em mim e pelo incentivo constante na realização deste trabalho e em minha jornada acadêmica.

Agradeço à minha orientadora Ana Cardoso e ao pesquisador Fábio Aurélio toda a paciência e dedicação para que este trabalho acontecesse; mesmo com todos os contratempos, foi possível realizá-lo. Gostaria de agradecer, também, ao Konrad, Douglas, José Airton e José Geraldo, que não mediram esforços para me ajudar a realizar este trabalho.

Agradeço, ainda, aos meus companheiros de jornada, meus amigos de vida e de faculdade, especialmente à Paola, Taciana, Sofia, Livia, Maria Eduarda, Lucas, Rafael, Breno, Fabrício, Ronaldo, Cinara e Petry, obrigado por estarem comigo nos momentos de dificuldades. Agradeço, assim, a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho; serei eternamente grata.

“Troque suas folhas, mas não troque suas raízes ...”

Autor Desconhecido

RESUMO

O zinco é um nutriente que precisa estar presente em quantidades adequadas na dieta da população, mas nem sempre isso ocorre devido à dificuldade de acesso a alimentos que o forneçam. O enriquecimento de grãos de feijão com zinco, por meio da biofortificação agrônômica, pode ser uma estratégia interessante, visto que o feijão é um alimento básico que está presente na dieta de uma parcela significativa da população brasileira. Este trabalho objetivou avaliar o comportamento agrônômico da cultivar de feijão carioca BRS MG Uai, bem como o enriquecimento com zinco de seus grãos, quando submetida a diferentes estratégias de adubação. Para isso, foi instalado um experimento em 01/03/2021 no CDTT /DAG – UFLA, em Ijaci - MG, em esquema fatorial 3x4, três adubos de base (350 kg.ha⁻¹ (NPK) 04-28-08, 350 kg. ha⁻¹ de (NPK) 04-28-08, com 10% de zinco no grânulo, 350 kg.ha⁻¹ de (NPK) 04-28-08, associado a 50 kg.ha⁻¹ de sulfato de zinco heptahidratado) e quatro estratégias de adubação foliar (não aplicação, aplicação de 5 kg.ha⁻¹ de sulfato de zinco heptahidratado, 6,67 kg.ha⁻¹ de quelato de zinco EDTA e 2,5 L.ha⁻¹ de óxido de zinco). As adubações foliares foram divididas em duas doses iguais (metade em cada aplicação), nos estádios R5 (pré-floração – 03/04/2021) e R8 (enchimento das vagens - 26/04/2021). O delineamento foi em blocos ao acaso, com 4 repetições, com as parcelas formadas por quatro linhas de 4 metros de comprimento, espaçadas 0,5 metro entre si, sendo colhidas como parcela útil as duas linhas centrais. Na colheita (28/05/2021), foram coletadas 10 plantas ao acaso, com as quais foram determinados os componentes de rendimento, n° de vagens por planta, n° de grãos por vagem e massa de cem sementes. Os grãos colhidos tiveram sua umidade determinada para posterior correção, separando-se uma amostra de 100 gramas que foi submetida a peneiras, sendo avaliada a retenção em peneira 12, 11 e resíduo de fundo para os grãos. O rendimento de grãos foi determinado após ser ajustado para 13% de umidade. Para a avaliação de zinco nos grãos, eles foram devidamente moídos e enviados para o laboratório, que, por meio da metodologia de digestão Nitroperclórica e determinação pela ICP-OES, definiram-se os teores de zinco. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, e o efeito dos tratamentos foi verificado pelo teste de F a 5% de significância. Os resultados obtidos demonstraram que não houve diferenças estatísticas para as análises componentes de rendimento e retenção de peneiras, o que, provavelmente, está associado ao fato de o cultivo ter ocorrido em período de rigoroso déficit hídrico, com pluviometria total no ciclo de cultivo de 105,1 mm, sendo 95,4 apenas no mês de março. Entretanto, para o teor de zinco nos grãos, foi possível constatar que as diferentes

fontes de adubo foliar possibilitaram aumento significativo, em que todos se apresentam como superiores à testemunha.

Palavras-chaves: Zinco. Desnutrição. Feijoeiro-Comum.

ABSTRACT

Zinc is a nutrient that needs to be present in adequate amounts in the population's diet, but this is not always the case due to difficult access to foods that provide it. The enrichment of bean grains with zinc through agronomic biofortification can be an interesting strategy, since beans are a staple food present in the diet of a significant portion of the Brazilian population. The objective of this work was to evaluate the agronomic behavior of the carioca bean cultivar BRS MG Uai, as well as the zinc enrichment effect of its grains, when subjected to different zinc fertilization strategies. To this end, an experiment was installed on 03/01/2021 at the CDTT /DAG – UFPA, in Ijaci MG, in a 3x4 factorial scheme, three base fertilizers (350 kg.ha⁻¹ (NPK) 04-28-08, 350 kg.ha⁻¹ of (NPK) 04-28-08 with 10% zinc in the granule, 350 kg.ha⁻¹ of (NPK) 04-28-08 associated with 50 kg.ha⁻¹ of zinc sulfate heptahydrate) and four foliar fertilization strategies (non-application, application of 5 kg.ha⁻¹ of zinc sulfate heptahydrate, 6.67 kg.ha⁻¹ of EDTA zinc chelate and 2.5 L.ha⁻¹ of zinc oxide zinc). The foliar fertilizations were divided into two equal doses (half in each application), at stages R5 (pre-flowering - 04/03/2021) and R8 (pod filling - 04/26/2021). The design was in randomized blocks with 4 replications, the plots were formed by four lines of 4 meters in length, spaced 0.5 meters apart, the two central lines being harvested as a useful plot. At harvest (05/28/2021), 10 plants were collected at random, with which the yield components, number of pods per plant, number of grains per pod and mass of one hundred seeds were determined. The harvested grains had their moisture determined for later correction, a 100-gram sample was separated and subjected to sieves, evaluating the retention in sieves 12, 11 and bottom residue for the grains, the grain yield was determined after being adjusted to 13% moisture. For the evaluation of zinc in the grains, they were duly ground and sent to the laboratory, which, using the Nitro Perchloric digestion methodology and determination by ICP-OES, determined the zinc levels. The data obtained were submitted to analysis of variance and the effect of the treatments was verified by the F test at 5% of significance. The results obtained showed that there were no statistical differences for the component analyzes of yield and sieve retention, which is probably associated with the fact that the cultivation took place in a period of severe water deficit, with total rainfall in the cultivation cycle of 105.1 mm, being 95.4 only in the month of March. However, for the zinc content in the grains, it was possible to verify that the different sources of foliar fertilizer allowed a significant increase, in which all were superior to the control.

Keywords: Zinc. Malnutrition. Common Bean.

SUMÁRIO

01–INTRODUÇÃO.....	09
02–OBJETIVO GERAL.....	10
2.1 Objetivos Específicos.....	10
03–FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	10
3.1 Cultura do feijão	10
3.1.1 Cultivar BRSMG Uai.....	11
3.2 Zinco.....	11
3.2.1 Importância do zinco no corpo humano	11
3.2.2 Deficiência do zinco.....	12
3.2.3 Estimativas de deficiência do zinco no Brasil	12
3.2.3 Recomendações do zinco para o ser humano.....	13
3.2.4 Recomendações de zinco no feijoeiro.....	13
3.3 Biofortificação	14
04–MATERIAIS E MÉTODOS.....	15
05- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	17
5.1 Componentes de rendimento do feijoeiro e produtividade.....	17
5.2 Retenção em peneiras	19
5.3 Teor de zinco no grão.....	20
06–CONCLUSÕES.....	23
07- REFERÊNCIAS.....	24

01- INTRODUÇÃO

A alimentação é a base para uma boa qualidade de vida, sendo que a desnutrição se associa à recorrência de doenças infecciosas, prejudicando o desenvolvimento psicomotor e a saúde dos animais, o que a torna um problema de saúde pública, de acordo com o Portal da Secretaria de Atenção Primária à Saúde (2014). É fato que esse problema está longe de ser resolvido, visto que, de acordo com as perspectivas de crescimento populacional, seremos mais de 9,5 bilhões de pessoas em 2050, o que exigirá que a produção mundial de alimentos cresça cerca de 70% (FAO, 2009). A produtividade da agricultura vem acompanhando esse crescimento populacional; no entanto, as taxas de deficiências nutricionais ainda afligem metade da população mundial, afetando principalmente mulheres grávidas, adolescentes e crianças em situação de extrema pobreza (WELCH & GRAHAM, 2004; MORAES, 2008). Segundo Miller & Welch (2013), essa deficiência ocorre devido ao consumo de alimentos com baixa qualidade nutricional, pois as pesquisas agrícolas são especialmente voltadas para o aumento da produção, e não para a sua qualidade nutricional. Estudos demonstram que ocorre uma relação inversa entre o ganho em produtividade, obtido pelo melhoramento vegetal, e o teor de micronutrientes em grãos de trigo (GARVIN *et al.*, 2006).

De acordo com Moraes (2008), a maior preocupação em relação à saúde humana são as deficiências de ferro, iodo, selênio, vitamina A e zinco, principalmente nos países em desenvolvimento, onde a desigualdade social e a desnutrição encontram-se em maior espectro. Neste trabalho, efetuou-se a biofortificação com zinco (Zn) na cultura do feijoeiro-comum, uma vez que o zinco é um nutriente que se encontra aproximadamente em mais de 200 enzimas envolvidas nas manutenções do sistema metabólico do organismo (PEDRAZA; SALES, 2015). Atuando no fortalecimento do sistema imunológico, auxiliando na recuperação de resfriados, tem um efeito anti-inflamatório e potencial antioxidante, sendo essencial para o crescimento e desenvolvimento do corpo (CRUZ. J.B.C e SOARES H.F; 2011).

O feijão tem importância social, econômica e cultural no Brasil, sendo um alimento amplamente consumido: cerca de 2,84 milhões de toneladas em 2019, e estimativa de 3,48 milhões de toneladas em 2025. No entanto, é mais consumido pela classe trabalhadora, nas camadas de baixa renda, onde ocorrem os maiores índices de deficiências nutricionais (COELHO; XIMENES, 2020).

A biofortificação é uma forma de se incrementar o teor de nutrientes deficitários nos alimentos, que pode ser realizada por meio genético e agrônomico, sendo que a biofortificação agrônômica é uma ferramenta implementada com relativa facilidade e com

preço acessível. É viabilizada a partir do manejo adequado da cultura, com métodos para manter o nutriente zinco disponível para que seja absorvido, elevando o *status* nutricional da planta (CAKMAK, 2017; MORAES *et al.*, 2009; MILLER & WELCH, 2013).

Desse modo, o número de estudos relacionados à biofortificação agrônômica vem crescendo. No entanto, ainda existe uma carência de dados científicos sobre a absorção/acúmulo diferencial de zinco na Cultivar BRSMG Uai, com a resposta da cultura em diferentes estratégias de adubação desse nutriente. Os resultados obtidos podem ser utilizados como uma base de recomendações agrônômicas aos produtores locais, da região.

02-OBJETIVO GERAL

Este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento agrônômico da cultivar de feijão-carioca BRS MG Uai, bem como o efeito de enriquecimento de seus grãos com zinco, quando submetida a diferentes estratégias de adubação com esse nutriente.

2.1 Objetivos Específicos

- Determinar se as adubações de zinco, tanto via solo quanto foliar, influenciam na produtividade, componentes de rendimento, retenção de peneira e teor de zinco no grão na Cultivar BRS MG Uai.
- Verificar se existe interação entre os fatores de adubação via solo e via foliar, para as variáveis de produtividade, componentes de rendimento, retenção de peneira e teor de zinco no grão.
- Identificar qual a melhor estratégia de adubação para biofortificação da Cultivar BRS MG Uai.

03-FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Cultura do feijão:

O *Phaseolus vulgaris*, pertencente à família *Fabaceae*, é conhecido como feijão-comum, que engloba os feijões do grupo carioca, preto, vermelho e outros, sendo amplamente consumido pelas famílias brasileiras, principalmente aquelas que se enquadram no grupo de média a baixa renda. Suas características nutricionais são um dos principais fatores que incentivam o consumo, sendo rico em nutrientes essenciais, como proteínas, ferro, cálcio,

vitaminas (principalmente do complexo B), carboidratos e fibras (CEASA PERNAMBUCO, 2011)

O feijão é plantado por quase toda a extensão territorial brasileira, sendo cultivado principalmente por pequenos e médios produtores. A produção dessa leguminosa tem grande importância econômica e social, sendo que, no levantamento realizado pela CONAB, em abril de 2023, a perspectiva de produção é de 2.951 mil toneladas, e o consumo interno, 2.850 mil toneladas. Além disso, são importadas 100 mil toneladas, e exportadas, 150 mil toneladas, o que demonstra que a maior parte da produção brasileira fica para consumo no país, reforçando ainda mais a relevância de se trabalhar agronomicamente com a segurança alimentar para a população.

3.1.1 Cultivar *BRS MG Uai*

A cultivar BRSMG Uai teve como origem a hibridação de progênies com grãos tipo carioca, com arquitetura ereta de planta e boa produtividade. Hábito de crescimento é indeterminado, tipo II, planta ereta, que a torna adaptada à colheita mecânica direta e menos suscetível a doenças em final de ciclo, visto que, na fase final, as vagens estão em menor contato com o solo, que é um dos fatores que ocasionam grandes perdas de produtividade por excesso de umidade (EMBRAPA, 2018)

Seu ciclo é em torno de 85 a 95 dias, do plantio à colheita; no entanto, varia com a época e a região. Sua produtividade é que torna a cultivar bastante interessante, sendo superior à Cultivar Pérola, uma das cultivares amplamente cultivadas no país (EMBRAPA, 2018).

3.2 Zinco

3.2.1 Importância do zinco no corpo humano

O zinco é um elemento-traço no organismo dos seres humanos, sendo um oligoelemento, representado por apenas 0,003% do corpo humano, com grandes concentrações no cérebro, próstata, pele, fígado, ossos e sangue. Por esses motivos, o zinco é considerado o segundo elemento-traço mais prevalente no organismo (TASMAN, 1992; WEISS *et al.*, 2001 *apud* PERSON *et al.*, 2005).

Esse elemento-traço, também reconhecido como micronutriente essencial, tem demonstrado uma participação como constituinte ativo e como cofator em mais de 300 enzimas, sendo responsável pela ativação da catalase. As enzimas são participantes do metabolismo de proteínas, ácidos nucleicos, carboidratos e lipídios. O zinco também se encontra envolvido na

estabilização de membranas estruturais, na proteção celular, no processo fisiológico - como antioxidante - na organização polimérica de macromoléculas de DNA e RNA, dentre outras reações importantes para o bom funcionamento e desempenho do corpo humano (VALLEE, 1993 *apud* MAFRA, COZZOLINO, 2004).

As funções do zinco ainda precisam ser mais estudadas, em busca de panoramas mais reais sobre a importância dele na nutrição humana. No entanto, pesquisas vêm mostrando “resultados promissores da suplementação com zinco no tratamento da diarreia, na melhora de infecções oportunistas em aids, nas alterações do paladar, na melhora do hipogonadismo” (MAFRA, COZZOLINO, 2004 p. 85).

3.2.2 Deficiência do zinco

A deficiência desse micronutriente é, inicialmente, difícil de ser identificada, por ser considerado um elemento-traço, com participação nos processos metabólicos em pequenas quantidades. A deficiência moderada tem sido detectada em grandes proporções nos países em desenvolvimento, constatada por meio do retardamento no crescimento, diarreia, pneumonia e malária, ocasionando prejuízos ao desenvolvimento cerebral (HAMBIDGE, 2000; *apud* MAFRA, COZZOLINO, 2004).

Quando se trata da deficiência prolongada, que é um estado bem crítico e grave, pode desencadear problemas como anorexia, disfunção erétil, distúrbios de comportamento, alopecia e outros distúrbios decorrentes (ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE, 1998; PRASAD, 1996 *apud* MAFRA D., COZZOLINO, 2004 p. 84).

A ausência do zinco no organismo pode ocorrer por diversos fatores, tais como: desnutrição, insuficiência renal crônica, má-absorção, consumo inadequado de zinco, dentre outras doenças (PRASAD, 1996 *apud* MAFRA D. COZZOLINO, 2004).

3.2.3 Estimativas de deficiência zinco no Brasil

Estudo realizado por Pedraza D.F e Sales C. (2017 p. 403) demonstrou que “a deficiência de zinco é associada a condições socioeconômicas, tais como a pobreza, pouca disponibilidade de alimentos de qualidade, falta de educação nutricional e condições de saneamento inadequadas [...]”. Desse modo, as divisões sociais fazem com que algumas classes socioeconômicas estejam mais propícias a deficiências nutricionais com o zinco, o que pode gerar zonas demográficas com mais ou menos incidência de deficiência.

Os piores indicadores de níveis de pobreza encontram-se no Norte e Nordeste do país, o que os expõe a uma maior vulnerabilidade. Os dois grupos que se apresentam como mais

suscetíveis à ocorrência da deficiência são os habitantes de zonas periféricas e das zonas rurais, visto que são desfavorecidos pela situação socioeconômica e as condições de saúde, sendo que a deficiência é mais frequente em crianças até dois anos, gestantes e idosos. No entanto, são necessários mais estudos estimando a real situação do Brasil quanto às deficiências nutricionais (PEDRAZA e SALES., 2017).

Diante do contexto, as circunstâncias socioeconômicas são os fatores que mais influenciam a deficiência nutricional do zinco, tornando-o um problema de saúde pública. Esse quadro vem acompanhado com a desnutrição, falta de acesso a alimentos saudáveis e nutritivos e outros problemas ocasionados pela pobreza.

3.2.4 Recomendações de zinco para o ser humano

A recomendação do micronutriente zinco à população considerada sadia é de 8 mg/dia para mulheres, e 11mg/dia, para homens. Os produtos com boas doses de zinco são nozes, leguminosas, mariscos, ostras e carnes vermelhas (FOOD AND NUTRITION BOARD, 2001; SANDSTRÖM, 1997 *apud* MAFRA D., COZZOLINO., 2004). Destaca-se que as leguminosas são a fonte de mais fácil acesso à população exposta à deficiência.

3.2.5 Recomendações de zinco no feijoeiro

A ausência de zinco disponível na rizosfera da planta faz com que ela apresente deficiência desse nutriente, o que pode, conseqüentemente, de acordo com Marenço e Lopes, (2009) *apud* Dantas (2021), ocasionar: queda na produtividade, deformação das folhas, clorose internerval e diminuição da resistência às doenças, além de redução no crescimento.

O micronutriente zinco age como contribuinte na ativação de algumas enzimas que intensificam a respiração e, conseqüentemente, a produção de ATP nos processos que exigem energia, de acordo com Taiz e Zeiger (2013). Além disso, associa-se ao fornecimento de precursores para várias rotas biossintéticas. O zinco pode ser absorvido pelas vias radicular e foliar na forma de íon bivalente (Zn^{2+}) e também como Zn quelato; ele se move no solo por meio do fluxo de massa ou difusão, preferencialmente por meio da difusão (SADEGHZADEH, 2013; MARSCHNER, 1993 *apud* DANTAS, 2021; DECHEN *et al.*, 1991).

As recomendações de zinco para cultura do feijoeiro são divergentes; no entanto, por Fageria (2000), os teores adequados de zinco, no solo, variam de 0,5 a 5 mg/ dm³ de solo, pelo extrator Mehlich 1. Porém, em trabalho realizado por Cambraia (2015), demonstrou-se que 1,02 mg/dm³ de Zn não foi o suficiente para suprir a necessidade do feijoeiro, afetando a

produtividade, o que leva a compreender que o teor de zinco e sua extração são fortemente variáveis.

3.3 Biofortificação

Segundo Harvest Plus (2016), os primeiros registros de trabalhos com biofortificação ocorreram em 1993 por uma jovem economista chamada Howarth Bouis, cujo trabalho abordava o combate à fome oculta. A partir desse momento, a pesquisadora propôs uma mudança no tipo de seleção nas plantas, avaliando primeiramente os teores de minerais e vitaminas na parte comestível das plantas, e não a produtividade, como era realizado antes. Logo, como resposta a essa mudança, originou-se Harvest Plus, um programa reconhecido internacionalmente que promove e coordena ações de biofortificação de alimentos no mundo todo.

Em nível nacional, os trabalhos de biofortificação de alimentos ocorreram em meados de 2000, por meio da rede BioFORT, vinculada ao Harvest Plus e gerenciada pela Embrapa. Os trabalhos consistiam em melhoramentos genéticos convencionais das culturas de interesse (VERGÜTZ *et al.*, 2016).

De fato, os alimentos vegetais são a fonte primária de nutrientes, porém, apresentam compostos antinutricionais que afetam diretamente a biodisponibilidade e absorção de alguns micronutrientes. Devido ao fato de estarem alinhados à pouca diversificação e ao consumo repetitivo de alimentos pobres em minerais, os níveis de má nutrição afligem metade da população mundial, especialmente mulheres grávidas, adolescentes e crianças (WELCH, 2001; GRAHAM *et al.*, 2001; MORAES *et al.*, 2012; JAIME, 2016).

A biofortificação pode ser genética e agronômica, sendo que a genética é um processo de maior tempo de execução e de alto custo, com foco na qualidade nutricional das partes comestíveis nas plantas melhoradas. Essa prática prioriza as cultivares que combinam níveis mais elevados de micronutrientes e vitaminas essenciais, sem alterar seu desempenho agronômico. Já biofortificação agronômica é uma ferramenta com custo relativamente acessível, em que se modifica o manejo agronômico da cultura. As técnicas agronômicas utilizadas são: adubação via solo, tratamento de sementes, aplicação de biofertilizantes (inoculação com fungos micorrízicos), sendo que até rotação de culturas e manejo da irrigação podem ser adotados, visando aumentar o teor de minerais nas culturas (MORAES *et al.*, 2009; REIS *et al.* 2014; VERGÜTZ *et al.*, 2016).

Os trabalhos de biofortificação agrônômica têm diversas metodologias e maneiras de cultivo, visto que a biofortificação tem cunho social. Com isso, é necessário que ela seja avaliada em diferentes ambientes e modos, buscando o máximo de enriquecimento com micronutrientes no grão. Em um trabalho feito por Cambraia (2015), em vasos, na casa de vegetação, dividido em duas partes, no qual, na primeira parte, avaliou-se a adubação foliar com zinco em diferentes doses, e, na segunda parte, a interação entre fatores de adubação via solo e via foliar, também com zinco, ambos os resultados se apresentaram como significativos para o incremento de zinco no grão. Outros trabalhos, como o feito por Dantas (2021) e Silva *et al.* (2015), também revelaram resultados positivos para biofortificação.

Ademais, são necessárias mais pesquisas sobre a biofortificação, visto que ela impacta diretamente no acesso amplo a nutrientes essenciais na dieta humana, e as oportunidades, muitas vezes, são inexistentes.

04-MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado no CDTT /DAG – UFLA, em Ijaci - MG, com as coordenadas de latitude: 21° 9'48.72" S e longitude: 44°55'8.69"O. O solo da área é de textura argilosa, e as características químicas do solo encontram-se na TABELA 1, em que se pode observar que o pH está em torno de 5,3, considerado como ácido. No entanto, a disponibilidade de Zn, assim como de outros micronutrientes, é maior em pH menor que 6. O teor de alumínio no solo é zero - uma característica química bem interessante, visto que o feijoeiro-comum tem sua produtividade delimitada com altos teores de alumínio trocável (EMBRAPA, 2011).

TABELA 1- Resultado da análise de solo de 0-20 cm da área experimental em Ijaci - MG.

Profundidade (m)	Ca	Mg	Al	H+Al	K	S	P	K	H ₂ O
	cmol _c dm ³					mg dm ³			pH
0,0 -0,20	2,5	0,4	0	3,3	0,46	12,3	11,9	180,2	5,3

Profundidade (m)	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B	CTC	SB	V%
	mg dm ³						cmol _c dm ³		Sat. Bases
0,0 – 0,2	0,04	43,2	10,7	1,5	4	0,32	6,7	3,4	50,75

Profundidade (m)	Textura (g Kg ⁻¹)			M.O	Ca/Mg	Ca/CT _C	Mg/CT _C	K/CTC	m%
	Argila	Silte	Areia	%	Relação entre bases			Sat. Al	
0,0 – 0,2	64	5,1	30,9	2,9	6,25	37,31	5,97	6,87	0

Fonte: Autoria própria, 2023

O delineamento experimental foi em blocos causalizados, em esquema fatorial 3 x 4, três adubos de base (350 kg.ha⁻¹ (NPK) 04-28-08, 350 kg. ha⁻¹ de (NPK) 04-28-08 com 10% de zinco no grânulo, 350 kg.ha⁻¹ de (NPK) 04-28-08 associado a 50 kg.ha⁻¹ de sulfato de zinco heptahidratado) e quatro estratégias de adubação foliar (não aplicação, aplicação de 5 kg.ha⁻¹ de sulfato de zinco heptahidratado, 6,67 kg.ha⁻¹ de quelato de zinco e 2,5 L.ha⁻¹ de óxido de zinco) divididas em duas doses iguais (metade em cada aplicação) nos estádios R5, pré-floração, e R8, enchimento das vagens, que ocorreram nos dias 03/04/2021 e 26/04/2021, respectivamente. O experimento foi realizado em 4 repetições, sendo as parcelas compostas por quatro linhas, de 4 metros de comprimento, espaçadas 0,5 metro entre si, sendo colhida a parcela útil de duas linhas centrais.

As doses de zinco aplicadas foram baseadas no proposto para o programa de biofortificação *Harvest Zinc*, em que se sugerem 10 kg de zinco por hectare via solo (PROM-U-THAI *et al.*, 2020). O adubo 04-28-08 é enriquecido com 10% de Zn; logo, foi aplicada a dose de 350 kg/ha, o que forneceu uma dose de 35 kg de zinco. Ao sulfato de zinco heptahidratado, aplicaram-se 50 kg, fornecendo uma dose de 10 kg de zinco por hectare.

Nas aplicações foliares, todas as doses das diferentes fontes foram adequadas para a dose total de 2 quilogramas por hectare, também de acordo com o determinado no programa *Harvest Zinc*.

Na condução do experimento, foram realizados os seguintes tratamentos culturais:

- A área foi dessecada com a utilização de herbicidas glifosato e sal de amônia na concentração de 792,5 g/kg e dose de 2,5 kg de produto comercial por hectare;
- A área foi sulcada com semeadora mecânica tracionada por trator;
- Nas parcelas, foram aplicadas manualmente as doses de adubos de base via solo e, depois, com o uso de sacho, o adubo foi incorporado no sulco;
- As sementes foram semeadas utilizando-se matracas de uso experimental, com três sementes por cova a cada 20 cm da linha, totalizando uma taxa de semeadura de 15 sementes por metro linear;

- No estágio fenológico V3, foi realizada a aplicação de herbicidas pós-emergentes (0,75 litro por hectare de fluasifope-p-butílico 250 g/l associado a 0,9 l por hectare de fomesafem 250 g/l);
- Não houve a aplicação de inseticidas e fungicidas na área, visto que a falta de chuvas inibiu o ataque de pragas e doenças;
- A colheita foi realizada no dia 28/05/2021, e não foi necessária a aplicação de herbicida para desseca, pois, com o estresse hídrico ocorrido, a planta teve grande desfolha (FIGURA 1).

FIGURA 1- Planta de feijão próximo à data de colheita, totalmente desfolhada.



Fonte: Martins,2021

O cultivo foi efetuado em condições de campo, no período de março a maio, sendo colhidas as parcelas experimentais (28/05/2021), coletando-se 10 plantas ao acaso, com as quais foram determinados os componentes de rendimento (n° de vagens por planta, n° de grãos por vagem e massa de cem sementes), retenção de peneiras 12, 11 e fundo de peneira, além dos teores de Zn nos grãos da cultivar BRSMG Uai. O rendimento foi obtido a partir da massa total de grãos produzidos na parcela útil, corrigindo-se para 13% de umidade.

Para avaliar o teor de zinco no grão, empregou-se a metodologia de extração de Zn digestão Nitroperclórica e determinação pela ICP-OES. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, e as comparações das médias foram feitas pelo teste Tukey ao nível de 5%.

05-RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Componentes de rendimento do feijoeiro e produtividade

As variáveis de componentes de rendimento, número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), massa de cem grãos (MCG) e produtividade (PROD) não apresentaram resultado significativo para os tratamentos realizados, na análise de variância, pelo Teste de F a 5% de significância (TABELA 2).

A média encontrada para as variáveis analisadas foram 11,28, para NVP; 3,8 para NGV; 20,75 para MCG; e 1123,66 kg/ha para PROD (TABELA 2). No comunicado técnico da cultivar, o valor médio de massa de cem grãos é de 24 gramas, e a média de produtividade, alcançada na época da seca, foi 2554 kg/ha, na cidade de Lavras, em 2008 (EMBRAPA, 2018).

TABELA 2- Quadro-resumo da análise de variância do número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), massa de cem grãos (MCG) e produtividade de grãos (PROD) do feijão-comum Cultivar BRS Uai biofortificado com zinco em Ijaci - MG, 2021

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio do Resíduo			
		NVP	NGV	MCG	PROD
Semeio (S)	2	3,83 ^{ns}	1,79 ^{ns}	1,47 ^{ns}	5751,20 ^{ns}
Foliar (F)	3	17,15 ^{ns}	0,39 ^{ns}	2,57 ^{ns}	132008,49 ^{ns}
SxF	6	7,63 ^{ns}	0,07 ^{ns}	6,16 ^{ns}	121829,76 ^{ns}
Bloco	3	35,58 [*]	1,37 [*]	3,91 ^{ns}	110815,21 ^{ns}
Resíduo	33	391,49	0,58	4,63	54840,03
CV(%)		30,55	20,1	10,37	20,84
Média Geral		11,28	3,8	20,75	1123,66 kg/ha

^{ns} não significativo * significativo a 5% probabilidade segundo teste F

Fonte: Autoria própria, 2023

Estatisticamente, a produtividade não significativa pelos tratamentos realizados corroboram os resultados obtidos por Dantas (2021), em que foram analisados os mesmos componentes de rendimento, no entanto, com diferentes doses de sulfato de zinco na fertirrigação, onde nenhuma variável de rendimento apresentou significância para a produtividade. Porém, trabalhos realizados por Morais *et al.* (2021) e por Melo (2019) demonstraram que as aplicações de zinco proporcionaram incrementos em massa de grãos e na produtividade.

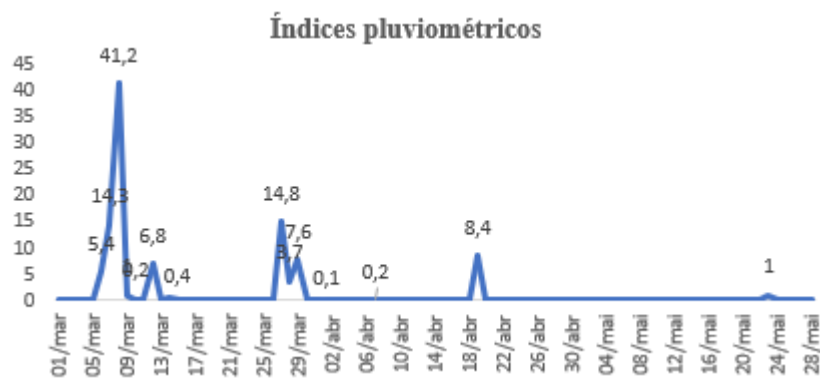
As aplicações de zinco no solo não expressaram diferenças significativas para todas as variáveis analisadas nesse tópico. No entanto, em estudo feito por Cambraia (2015), o zinco, quando omitido do solo, compromete o desenvolvimento do feijoeiro, provocando quedas de produção.

O teor de zinco do solo está interligado às controvérsias referentes à produtividade do feijoeiro, já que, por parte das vezes, o teor de zinco no solo se encontra como adequado para suprir as necessidades produtivas deste (SILVA *et al.*, 2015). É possível que o incremento de zinco, por meio da adubação, não resulte em diferenças significativas na produtividade - caso que pode ter acontecido no presente trabalho, pois o teor de zinco no solo foi de 4 mg/dm³, pelo extrator Mehlich 1 (TABELA 1), De acordo com Fageria (2000), os teores adequados de zinco no solo podem variar de 0,5 a 5 mg/ dm³ de solo, pelo extrator Mehlich 1.

O zinco foliar aplicado não apresentou resultado significativo para os componentes de rendimento e produtividade. Ressalta-se que o objetivo das aplicações foliares não visava ao incremento na produtividade do feijoeiro, mas sim ao aumento de teor de Zn no grão. Por isso, as pulverizações realizadas foram feitas nos estágios fenológicos R5 e R8, que correspondem à pré-floração e ao enchimento de grão, respectivamente, fase em que o potencial produtivo da cultura já foi estabelecido por estágios fenológicos anteriores.

Apesar das controvérsias sobre o tema, os resultados obtidos podem ser atribuídos ao fato de o cultivo ter coincido com um período rigoroso de déficit hídrico, o que já era esperado, visto que o feijão foi implementado em uma época suscetível, o chamado feijão da seca. A pluviometria total no ciclo da cultura foi de 105,1 mm, sendo 95,4 mm apenas no mês de março (FIGURA 2). Esse estresse hídrico ocorrido afeta diretamente a produtividade, sendo que, de acordo com Carvalho *et al.* (2013), a cultura do feijoeiro é muito sensível ao estresse hídrico pela sua baixa capacidade de recuperação, exigindo chuvas mensais de 100 mm, bem distribuídas.

FIGURA 2 - Índices pluviométricos durante o período de cultivo (01/03/2021 a 28/05/2021)



Fonte: autoria própria com dados do INMET, 2021

5.2 Retenção em peneiras

A retenção de peneira é um dos aspectos visados nos programas de melhoramento do feijoeiro, pelo fato de os grãos graúdos, acima da peneira 12, apresentarem uma melhor aceitação pelo mercado consumidor (MELO *et al.*, 2021, *apud* SALLES, 2023). A aplicação de diferentes fontes de Zn por meio foliar e via solo não proporcionou diferenças estatísticas, para as variáveis de retenção de peneira 12, 11 e resíduo de fundo. A porcentagem de retenção de peneiras foi de 64%, 20% e 16%, nas peneiras 12, 11 e no fundo de peneira, respectivamente (TABELA 3).

Esse resultado pode ter sido afetado pelo de déficit hídrico, em que o volume total pluviométrico foi de 105,1 mm (Figura 2), mal distribuídos, visto que o período de maior exigência hídrica/mais suscetível para a cultura, que influencia no tamanho dos grãos, é nos estágios R6 a R8, compreendendo formação de vagens e enchimento de grãos (DANTAS, 2021). Neste trabalho, os estágios R6 e R8 compuseram o período onde houve baixa precipitação de pluviométricas, cerca de 8 mm. Desse modo, fica entendido que, mesmo com as adubações de zinco, que poderiam influenciar nessas variáveis, nas condições ambientais do experimento, não se consegue afirmar que o zinco não interfere nesses parâmetros, devido ao fato de as plantas não expressarem seu maior potencial produtivo.

TABELA 3- Quadro-resumo da análise de variância da retenção de peneira 12 (P12), 11 (P11) e fundo de peneira (FP) do feijão-comum Cultivar BRS Uai biofortificado com zinco em Ijaci - MG, 2021

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio do Resíduo		
		P12	P11	FP
Semeio (S)	2	14,57 ^{ns}	9,62 ^{ns}	0,52 ^{ns}
Foliar (F)	3	7,74 ^{ns}	19,51 ^{ns}	2,78 ^{ns}
SxF	6	24,57 ^{ns}	13,77 ^{ns}	5,19 ^{ns}
Bloco	3	89,18 [*]	35,15 [*]	13,16 ^{ns}
Resíduo	33	23,73	9,1	9,92
CV(%)		7,63	15,2	19,3
Média Geral		0,64	0,2	0,16

^{ns} não significativo * significativo a 5% probabilidade segundo teste F

Fonte: Autoria própria, 2023

5.3 Teor de zinco no grão

A concentração comum de zinco no grão de feijão é bem variável considerando-se a cultivar e o ambiente de cultivo, podendo oscilar entre 27,7 mg kg⁻¹ e 31,7 mg kg⁻¹. (EMBRAPA, 2018). As adubações realizadas via foliar apresentaram diferenças estatísticas

para a concentração de zinco no grão, sendo que todas as fontes se revelaram superiores à testemunha (TABELA 4). As médias foram de 23,24 mg kg⁻¹; 26,43 mg kg⁻¹; 29,93 mg kg⁻¹ e 32,09 mg kg⁻¹, para os tratamentos com não aplicação; aplicação de 6,67 kg.ha⁻¹ de quelato de zinco EDTA; de 2,5 L.ha⁻¹ de óxido de zinco; e de 5 kg.ha⁻¹ de sulfato de zinco heptahidratado, respectivamente (TABELA 5). As análises de variância pelo teste de F a 5% de significância demonstraram que, na interação da adubação via solo e foliar e na adubação via solo, não se verificou diferença significativa para concentração de zinco no grão (TABELA 4).

TABELA 4- Quadro-resumo da análise de variância do teor de zinco no grão do feijão-comum Cultivar BRS Uai biofortificado com zinco em em Ijaci - MG, 2021

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio do Resíduo
		Zn Grão
Semeio (S)	2	10,09 ^{ns}
Foliar (F)	3	182,46*
SxF	6	7,24 ^{ns}
Bloco	3	1,55 ^{ns}
Resíduo	33	6,35
CV(%)		9,02
Média Geral		27,93 mg kg ⁻¹

^{ns} não significativo * significativo a 5% probabilidade segundo teste F

Fonte: Autoria própria, 2023

Os resultados encontrados no presente trabalho são contrários aos obtidos por Cambraia, (2015). No entanto, seu trabalho foi realizado em vasos na casa de vegetação - a interação entre a adubação via solo e foliar foi responsiva, sendo que, quanto maior a dose foliar concomitante à dose via solo de 5 a 10 Kg de Zn, maior era a concentração de Zn no grão. Os dados apresentados por esse autor mostraram respostas quadráticas, o que evidencia que a concentração de zinco no grãos pode ter chegado ao seu máximo de enriquecimento, com cerca de 67,50 mg kg⁻¹ de zinco no grão.

Com adubação foliar, mesmo em condições atípicas, a acumulação de zinco no grão ainda se apresentou 38% maior em relação à não aplicação. Esse resultado pode ser compreendido pelo fato de o zinco ser relativamente móvel no floema e ter uma grande variação aos drenos da planta, sendo uma característica essencial para o seu transporte e acúmulo no grão (SILVA *et al.*, 2015; CAMBRAIA, 2015; DECHEN *et al.*, 1991).

Os trabalhos com biofortificação de zinco no feijoeiro demonstram que as adubações foliares resultam em maiores concentrações do nutriente. Logo, verifica-se o resultado significativo para o aumento de zinco no grão para o fator adubação foliar. Em trabalhos efetuados por Silva *et al.* (2015), o teor de Zn aumentou linearmente com as doses de zinco aplicada.

No estudo executado por Cambraia, (2015), a adubação de sulfato de zinco em doses crescentes promoveu aumento de 42,6 % no teor de Zn nos grãos de feijão. No entanto, mesmo que essa técnica tenha sido eficiente para o incremento de Zn na cultura do feijoeiro, os resultados encontrados no presente trabalho e no realizado por Cambraia revelam que o potencial de biofortificação com zinco não foi atingindo, se comparado com os genótipos de feijão disponíveis para o melhoramento genético, que são 54 mg kg⁻¹ (BEEBE, 2000 *apud* CAMBRAIA, 2015).

No trabalho feito por Martins (2015), avaliaram-se 140 cultivares de feijão-comum, em diferentes ambientes no Brasil. Os resultados encontrados apontaram que existe uma grande interação de linhagens biofortificadas com seus ambientes, o que conclui que o ambiente de cultivo influencia fortemente na expressão do potencial genético. Sem dúvida, o mesmo pode ter ocorrido na presente pesquisa. Os resultados não significativos da interação e da adubação via solo foram fortemente influenciados pelas condições ambientais, onde as plantas passaram por grande estresse hídrico, resultando em baixa expressão de seu potencial genético. A análise de incremento de zinco via foliar, mesmo que positiva, não chegou ao limite do potencial de biofortificação, como apresentado por outros autores. No entanto, este trabalho ainda revelou resultados positivos para o principal objetivo: o incremento de zinco no grão.

As fontes de zinco aplicadas na pesquisa demonstram diferenças estatísticas entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, sendo que o sulfato e o óxido de zinco são estatisticamente superiores aos demais tratamentos, médias de 32,09 e 29,93, respectivamente, e o quelato de zinco superior à não aplicação, com média de 26,43. (TABELA 5). O comportamento diferente das fontes é atribuído ao seu íon acompanhante, à sua solubilidade e tamanho/peso molecular, pois essas características são as que permitem permeabilidade do nutriente na planta e, conseqüentemente, seu acúmulo nas partes vegetativas (CARDOSO, 2012)

TABELA 5- Quadro de comparação de médias pelo teste de Tuckey da aplicação via foliar, a 5% de significância para a variável teor de zinco no grão (mg.dm^3) do feijão-comum Cultivar BRS Uai biofortificado com zinco em Ijaci - MG, 2021

Tratamentos	Médias e Resultado
Não aplicação	23,24 a
Quelato de zinco EDTA	26,43 b
Oxido de zinco	29,93 c
Sulfato de zinco heptahidratado	32,09 c

Letras iguais correspondem a resultados estatisticamente iguais.

Fonte: Autoria própria, 2023

O sulfato de zinco possui melhor solubilidade em água, o que influencia em sua biodisponibilidade para a planta. Os resultados de Vale e Alcarde (2002), *apud* Cardoso, (2012) e os resultados encontrados neste experimento, para essa variável, apresentam similaridade, pois o sulfato de zinco foi o mais disponível às plantas, seguido pelo óxido de zinco, sendo que, em índices de eficiência agrônômica, o óxido de zinco é 10% menor que o sulfato de zinco (CARDOSO; 2012). O óxido de zinco tem baixa solubilidade em água, no entanto, no presente trabalho, revelou-se superior ao quelato e estatisticamente igual ao sulfato de zinco, na comparação de médias. A eficiência do quelato de zinco é dependente do quelatizante usado, sendo que isso determina sua dissociação na água e, conseqüentemente, sua absorção pela folha.

06-CONCLUSÕES

Diante do que foi observado no presente estudo, a estratégia que apresentou o melhor resultado, nas condições do experimento, para o enriquecimento com zinco nos grãos de feijão da cultivar BRS MG Uai foi a adubação foliar, em que o sulfato e o óxido de zinco evidenciaram as maiores médias. Além disso, as adubações zinco, tanto via solo quanto foliar, não apresentaram resultados significativos para produtividade, componentes de rendimento e retenção de peneira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- BANCO NORDESTE; COÊLHO, Jackson Dantas; XIMENES, Luciano Feijão. Caderno Setorial ETENE. **FEIJÃO: PRODUÇÃO E MERCADO**, [s. l.], ano 5, n. 143, dez 2020. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/429/1/2020_CDS_143.pdf. Acesso em: 11 jun. 2022.
- CAKMAK, I., MCLAUGHLIN, M.J. & WHITE, P. **Zinc for better crop production and human health**. Plant Soil, v. 411, 1-4, 2017.
- CAMBRAIA, Thaís Lopes Leal. **Biofortificação agrônômica do feijão pelo manejo da adubação com zn**. 2015. Dissertação de Trabalho de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, p 1-58, Viçosa 2015. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/6460/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 25 maio 2023.
- CARDOSO, Fabiana Rodrigues. **Fontes e doses de zinco na nutrição e produção de feijão-comum e mamona em consórcio**. 2012 43 f. Dissertação Mestrado em Engenharia Agrícola-Câmpus Central - Sede: Anápolis – CET, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, 2012
- CARVALHO, Ivan Ricardo *et al.* **Demanda hídrica das culturas de interesse agrônômico**. Enciclopédia Biosfera, Santo Antônio de Goiás, GO, p. 1-17, 2013. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/CIENCIAS%20AGRARIAS/DEMANDA%20HIDRICA.pdf>. Acesso em: 25 maio 2023.
- CEASA (PERNAMBUCO). **A importância do feijão na agricultura brasileira**. In: Mercado. [S. l.], 19 mar. 2010. Disponível em: <https://www.ceasape.org.br/noticias/a-importancia-do-feijao-na-agricultura-brasileira>. Acesso em: 15 abr. 2023.
- CONAB (Brasília). **Acompanhamento Da Safra Brasileira: 7º Levantamento. Safra 2022/23**, [S. l.], p. 43-57, 6 abr. 2023. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra/graos>. Acesso em: 15 abr. 2023.
- CONAB (Brasília). **Acompanhamento Da Safra Brasileira: Levantamento. Safra 2002/03**, [S. l.], p. ?, 6 abr. 2003. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safra/safra/graos>. Acesso em: 15 abr. 2023.
- CRUZ J. B, C., SOARES H. F **Uma revisão sobre o zinco**. Ensaios e Ciência: Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde [Internet]. 2011;15(1):207-222. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=26019329014> Acesso em: 11 jun. 2022.
- DANTAS, Leonardo Rodrigues. **Desempenho agrônômico do feijão-comum fertirrigado com boro e zinco**. Trabalho de Conclusão de Curso, IF Goiano Campus Rio Verde, p. 1-37, 7 jun. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/1945>. Acesso em: 25 maio 2023.
- DECHEN, A.R.; HAAG, H.P. & CARMELLO, Q.A.C. **Mecanismos de absorção de nutrientes e translocação de micronutrientes**. In: FERREIRA, M.E. & CRUZ, M.C.P. (Eds.). MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p. 79-98.

EMBRAPA (Goiás). **BRSMG Uai: Cultivar de Feijão Tipo Carioca com Planta de Arquitetura Ereta**. Comunicado Técnico, Santo Antônio de Goiás, GO, p. 1-8, dez 2018. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1103800/1/CNPAF2018ct246.pdf](https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1103800/1/CNPAF2018ct246.pdf). Acesso em: 25 maio 2023.

EMBRAPA (Goiás). **Cultivares de Feijão com Maiores Teores de Ferro, Zinco e Proteína nos Grãos**. COMUNICADO TÉCNICO, Santo Antônio de Goiás, p. 1-8, 15 maio 2018. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/177474/1/CNPAF-2018-cot243.pdf>. Acesso em: 11 maio 2023.

EMBRAPA (Goiás). **Recomendações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum (Phaseolus vulgaris L.) nas regiões Norte e Nordeste do Brasil**. CIRCULAR TÉCNICA 89, Santo Antônio de Goiás, p. 01-64, 15 nov. 2011. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/916406/recomendacoes-tecnicas-para-o-cultivo-do-feijoeiro-comum-phaseolus-vulgaris-l-nas-regioes-norte-e-nordeste-do-brasil>. Acesso em: 11 maio 2023.

FAGERIA, N. K. **Níveis adequados e tóxicos de zinco na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental [online]. 2000, v. 4, n. 3 pp. 390-395. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662000000300014>. Acessado 25 Maio 2023.

FAGERIA, N. K. **Resposta de arroz de terras altas, feijão, milho e soja à saturação por base em solo de cerrado**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 5, n. 3, p. 416-424, set./dez. 2001. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662001000300009>. Acessado 25 Maio 2023.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS FAO. **How to feed the world in 2050**, 2009. Disponível em: http://www.fao.org/fileadmin/templates/wsfs/docs/expert_paper/How_to_Feed_the_World_in_2050.pdf. Acesso em: 11 de jun de 2022.

GARVIN, D.F.; WELCH, R.M.; FINLEY, J.W. **Historical shifts in the seed mineral micronutrient concentration of US hard red winter wheat germplasm**. Journal of the Science of Food and Agriculture, v. 86, 2213-2220, 2006.

GINÉ, Maria Fernanda. **Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma**. Piracicaba/ SP: [s. n.], 1998. 149 p. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.ufjf.br/baccan/files/2011/05/Livro-ICP-OES.pdf](https://www.ufjf.br/baccan/files/2011/05/Livro-ICP-OES.pdf). Acesso em: 28 jan. 2021.

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.

HARVEST PLUS. **Biofortification: The Nutrition Revolution Is Now** [internet]. 2016 [acesso em 12 jun 2022]. Disponível em: <http://www.harvestplus.org>.

JAIME P.C. **Síntese Teórica para TBL da aula PNAN: Atenção Nutricional** – Carências de micronutrientes [síntese teórica para a disciplina de políticas públicas de alimentação e nutrição]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2016.

MAFRA, Denise E COZZOLINO, Sílvia Maria Franciscato. **Importância do zinco na nutrição humana. Revista de Nutrição** [online]. 2004, v. 17, n. 1 [Acessado 15 Abril 2023], pp. 79-87. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-52732004000100009>>. Epub 29 Abr 2004. ISSN 1678-9865. <https://doi.org/10.1590/S1415-52732004000100009>.

MARTINS, S. M. **Estratégias de melhoramento do feijoeiro-comum para altos teores de ferro e zinco**. 2015. 92 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015. Disponível em : <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/6127>. Acesso em: 25 maio 2023.

MELO, F.B.; CADOSO, M.J.; BASTOS,, E.A.; RIBEIRO, V.Q.; FRANCO, L.J.D. **Aplicação de fósforo e zinco em cultivar biofortificada de feijão-caupi**. Embrapa MeioNorte-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: Congresso Nacional De Feijão-Caupi, 5, 2019, Fortaleza, Anais... Congresso Nacional De Feijão-Caupi, 2019, p.5.

MILLER, D. D.; WELCH, R. M.; **Foodsystem strategies for preventing micronutrient malnutrition. Food Policy**, v. 42, 115-123, 2013.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Atenção Primária à Saúde. **In: Prevenção e Controle de Agravos Nutricionais: Desnutrição**. [S. l.], 2012. Disponível em: <https://aps.saude.gov.br/ape/pcan/desnutricao>. Acesso em: 22 jun. 2022.

MORAES M. F.; NUTTI M. R.; WATANABE E.; CARVALHO J. L. V. **Práticas agronômicas para aumentar o fornecimento de nutrientes e vitaminas nos produtos agrícolas alimentares**. In: Anais do I Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável; 2009; Viçosa, Minas Gerais: UFV. Viçosa: UFV; 2009.

MORAES M.F, PASCOALINO J.A.L, ALVES S.J.F, NUTTI M.R, CARVALHO J.L.V. **Biofortificação alternativa à segurança alimentar e nutricional**. Informações Agronômicas. 2012;140:9-15.

MORAES, M. F. **Relação entre nutrição de plantas, qualidade de produtos agrícolas e saúde humana**. Informações Agronômicas, Potafos, nº.123, 21-23, 2008.

MORAIS, W.A.; SLVA, C..H.F.; SOARES, F.A.L.; TEIXEIRA, M.B.; DA SILVA, N.F.; CAVALCANTE, W.S.S. **Produtividade do feijão-comum fertirrigado com zinco e boro em latossolo vermelho de cerrado**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, Rio Verde, Goiás, v. 14, n. 5, p. 4240-4247, 2021.

PEDRAZA, D F; SALES, M C. **Deficiência de zinco: diagnóstico, estimativas do Brasil e prevenção**. Artigo de Revisão, Nutrire, v. 40, ed. 3, p. 397- 408, 2015. DOI 10.4322/2316-7874.09513. Disponível em: http://sban.cloudpainel.com.br/files/revistas_publicacoes/487.pdf. Acesso em: 11 jun. 2022

PEDRAZA, Dixis Figueroa; SALES, Márcia Cristina. **Estudos realizados no Brasil sobre a deficiência e a suplementação de zinco: ênfase em crianças**. Revista Brasileira Saúde e

Maternidade Infantil, [s. l.], 14 abr. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbsmi/a/cshhmdYLVyygFtfqmKyLLQy/?lang=pt#>. Acesso em: 15 abr. 2023.

PERSON, Osmar Clayton *et al.* **Repercussões clínicas da deficiência de zinco em humanos.** Artigo de revisão, [S. l.], p. 46-52, 1 dez. 2005. Disponível em: <https://portalnepas.org.br/amabc/article/view/237/233>. Acesso em: 15 abr. 2023.

PROM-U-THAI, Chanakan *et al.* **Simultaneous biofortification of rice with zinc, iodine, iron and selenium through foliar treatment of a micronutrient cocktail in five countries.** *Frontiers in Plant Science*, v. 11, p. 589835, 2020.

REIS A.R, FURLANI J. E, MORAES M.F, MELO S.P.M. **Biofortificação agronômica com selênio no Brasil como estratégia para aumentar a qualidade dos produtos agrícolas.** *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*. 2014;8(2):128- 138.

SALLES, Josiane Souza. **Qualidade fisiológica de sementes e características agronômicas do feijoeiro em função de boro e zinco via foliar.** Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho” Faculdade De Engenharia Câmpus De Ilha Solteira, p. 1-72, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/242677>. Acesso em: 25 maio 2023.

SILVA, Maria Ligia de Souza *et al.* **Aplicação de zinco na cultura do feijoeiro.** Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Natal, p. 1-4, 7 ago. 2015. Disponível em: [efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.eventossilos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/444.pdf](https://www.eventossilos.org.br/cbcs2015/arearestrita/arquivos/444.pdf). Acesso em: 25 maio 2023.

TAIZ L., ZEIGER E. **Plant Physiology.** United Kingdom: Sinauer Associates, p. 782, 2013
VERGÜTZ L, LUZ J.M.R, SILVA M.C.S, KASUYA M.C.M. Biofortificação de alimentos: saúde ao alcance de todos. *Boletim Informativo da SBCS*. 2016;42(2):20-23.

WELCH R. M.; **Micronutrients, agriculture and nutrition; linkages for improved health and well being.** In: SINGH K., MORI S., WELCH R.M., eds. *Perspectives on the micronutrient nutrition of crops*. Jodhpur, India: Scientific Publishers, 247–289; 2001.

WELCH, R. M.; GRAHAM, R. D.; **Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective.** *Journal of Experimental Botany*, v. 55, n° 396, 353-364, 2004.