UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA
CURSO DE DOUTORADO EM AGROECOLOGIA

LINCON MATHEUS ARAUJO SILVA

BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA COM ZINCO EM CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI: ESTRATÉGIA PARA A AGRICULTURA FAMILIAR MARANHENSE

São Luís/MA
2024

LINCON MATHEUS ARAUJO SILVA
Engenheiro Agrônomo
Mestre em Agroecologia

BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA COM ZINCO EM CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI: ESTRATÉGIA PARA A AGRICULTURA FAMILIAR MARANHENSE

Defesa de Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia na Universidade Estadual do Maranhão, para obtenção do título de Doutor em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Heder Braun

SÃO LUÍS/MA

2024

Silva, Lincon Matheus Araujo

Biofortificação agronômica com zinco em cultivares de feijão-caupi: estratégia para a agricultura familiar maranhense. / Lincon Matheus Araujo Silva. – São Luis, MA, 2024.

61 f

Tese (Doutorado em Agroecologia) – Universidade Estadual do Maranhão, 2024.

Orientador: Prof. Dr. Heder Braun

1.Vigna unguiculata. 2.Zn. 3.Deficiências nutricionais. 4.Qualidade alimentar. I.Título.

CDU: 633.35:631.82

BIOFORTIFICAÇÃO AGRONÔMICA COM ZINCO EM CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI: ESTRATÉGIA PARA A AGRICULTURA FAMILIAR MARANHENSE

Aprovado em: 29/03/2024.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br
HEDER BRAUN
Data: 28/03/2024 09:07:14-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Heder Braun – Orientador

Documento assinado digitalmente
gov.br
ROGERIO FARIA VIEIRA
Data: 28/03/2024 09:14:28-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Rogério Faria Vieira
Universidade Estadual do Maranhão/EMBRAPA

Documento assinado digitalmente
gov.br
CRISTINA SILVA CARVALHO
Data: 05/04/2024 15:26:29-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dra. Cristina Silva Carvalho
Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão – IEMA

Documento assinado digitalmente
gov.br
ESTER AZEVEDO DO AMARAL
Data: 27/05/2024 16:11:41-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dra. Ester Azevedo do Amaral
Universidade Estadual do Maranhão/PPGA

Documento assinado digitalmente
gov.br
JOAO BATISTA ZONTA
Data: 28/03/2024 11:31:20-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. João Batista Zonta
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo o propósito debaixo do céu”. Eclesiastes 3:1

As minhas mães (Diene e Gilmara).

Aos meus pais (Nelson e João).

Dedico!

AGRADECIMENTOS

[...]

Deus deseja que sejamos agradecidos por tudo o que Ele nos dá. Qualquer pai fica feliz quando o seu filho lhe agradece por alguma coisa. Deus também é assim, Ele se alegra quando reconhecemos o Seu mover na nossa vida, mesmo que as coisas não ocorram como queremos sempre temos motivos para agradecer e nos alegrar no Senhor.

Obrigado, Senhor!

A Jesus, meu senhor e salvador, a Ele toda honra e toda glória! Por ser meu socorro bem presente, por tudo e todos que colocou em meu caminho para que este sonho fosse possível.

Aos meus pais Nelson Alves da Silva e à minha mãe Diene Araujo Silva por tanto amor, cuidado, incentivo e compreensão com a minha ausência em nosso lar Quiteriense.

Ao meu pai do coração João Batista e sua família, pelo exemplo de vida, humildade e caráter a ser seguido. Obrigado "Siô", você fez e faz toda diferença na minha vida.

À Gilmara por me acolher em seu lar, com amor e zelo, serei eternamente grato. Você que também fez e faz toda diferença na minha vida.

Aos meus irmãos, sobrinhos e cunhados (Wellyda, Wellyton, Maise, Kellyane, Maria Liz, Ivy Maria, Livia, João Pedro, Giovanna, Gleice e Júnior).

À toda minha família que direta ou indiretamente contribuíram para cada etapa desta conquista.

Ao professor e orientador, Dr. Heder Braun pela amizade, dedicação, paciência e confiança depositada.

Ao meu coorientador, Dr. Rogério Faria Vieira (UFV), pelo suporte em todos os questionamentos científicos.

Ao professor, João Batista Zonta (EMBRAPA COCAIS), pelo apoio incondicional em todas as etapas do trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela bolsa concedida.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento do Maranhão – FAPEMA pelo financiamento do projeto.

À Universidade Estadual do Maranhão, pelos mais de 10 anos de estudos gratuitos e ensino de qualidade.

Aos funcionários do programa, Neto, Amélia, Lu e Rayane, que sempre estão dispostos a ajudar.

À minha amiga, irmã, afilhada e agora mãe da Sophia, Karen Alessandra, pelo apoio, conselhos, risadas, choros, reclamações, e acima de tudo companheirismo.

Ao meu amigo incansável e paciente, Vinicius Saraiva, pelo suporte em todos os momentos bons e ruins, serei eternamente grato.

E finalmente, aos meus amigos de graduação, mestrado e doutorado: Karen Alessandra, Diéssica, Marcelo Marinho, Cristina Carvalho, Werlen, Ester, Vanessa, Myrella, Alan e Marcos.

A todos que, de uma forma ou de outra, colaboraram para a conclusão de mais uma etapa de minha vida e que, embora não citados aqui, não deixam de merecer meu profundo agradecimento.

Obrigado a todos!

SUMÁRIO

1 REVISÃO DE LITERAUTRA 13
REFERENCIAS 20
CAPÍTULO II 23
RESUMO 25
1 INTRODUÇÃO 26
3. HIPÓTESES 28
4. OBJETIVOS 28
5. MATERIAL E MÉTODOS 28
6 RESULTADOS 34
6 DISCUSSÃO 37
7 CONCLUSÃO 40
REFERÊNCIAS 41
CAPÍTULO III 46
RESUMO 47
1 INTRODUÇÃO 48
2 MATERIAIS E MÉTODOS 50
3. RESULTADOS 53
4 DISCUSSÃO 55
5 CONCLUSÃO 57

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II:

Figura 1. Precipitação acumulada mensal e temperatura média durante a execução dos ensaios conduzidos em São Luís – MA, (2022). Fonte: Dados da Rede do INMET, São Luís, MA. .....……. 29

Figura 2: Representação da parcela experimental, São Luís, MA. 31

Figura 3: Esquema de irrigação por gotejamento utilizado na área experimental durante os dois experimentos, São Luís, MA..... 32

Figura 4: Efeitos dos tratamentos envolvendo Zn sobre a massa da parte aérea seca (a), massa de raiz seca (b), relação Raiz/PA (n=24) (c), efeitos da interação entre cultivares de feijão-caupi e tratamentos envolvendo Zn sobre a massa total das plantas (c) e produtividade (n=8) (e), e efeitos dos tratamentos envolvendo Zn sobre o teor de Zn no grão (f) (n = 24), São Luís, Maranhão, Brasil. 35

CAPÍTULO III:

Figura 1:Média da porcentagem de percevejos identificados da espécie Crinocerus santus, Nezara viridula, Euschistus heros, Piezodorus guildinii, Diceraeus spp., Thyanta perditor and Neomegalotomus parvus das sete amostragens, no ensaio de campo. São Luís, MA, 2022. .....……..……. 54

Figura 2: Efeito dos níveis de Zn aplicados na folhagem na infestação de percevejo no grão (a) de cultivares de feijão-caupi; efeitos dos cultivares de feijão-caupi na espessura da casca da vagem b). Médias com mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. A barra de erro denota o desvio padrão. 55

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II:

Tabela 1. Características físico-químicas do solo na profundidade de 0-20 cm, antes da

implantação dos experimentos, São Luís/MA em 2022. .....……. 30

Tabela 2: Descrição dos tratamentos envolvendo Zn e os contrastes ortogonais testados nos dois ensaios, São Luís, em 2022. 31

Tabela 3: Valores de F e P para os efeitos fixos do modelo ajustado para a produtividade, massa da parte aérea, das raízes e total seca, relação entre a massa de raiz seca e massa da parte aérea seca (R/PA) e teor de Zn no grão de feijão-caupi, em São Luís, Maranhão. 34

CAPÍTULO III:

Tabela 1. Precipitação acumulada e a média da temperatura máxima e mínima durante a condução do ensaio de campo, São Luís, Maranhão, Brasil, 2022. 50

Tabela 2. Características dos cultivares em sistema de sequeiro avaliadas no experimento.
.....51

Tabela 3. Valores de *F* e *P* para os efeitos fixos do modelo ajustado para a infestação de percevejo nos grãos e espessura da casca da vagem, em São Luís, Maranhão. 53

RESUMO GERAL

A biofortificação agronômica com zinco (Zn) é uma técnica eficiente e acessível para aumentar o teor de Zn em alimentos. Estudos com feijão-caupi (BRS Novaera, BRS Itaim e BRS Guariba) demonstraram que a aplicação de 5 kg/ha de Zn no solo e 4 kg/ha na folhagem aumentou a produtividade em 18-19%, o teor de Zn em 12-25% e reduziu infestações de percevejos. Essa técnica melhora a qualidade nutricional, resistência a pragas e produtividade sustentável do feijão-caupi. Além disso, nesses mesmos estudos realizados em 2022 com cultivares de feijão-caupi (BRS Novaera, BRS Itaim e BRS Guariba) demonstraram que os resultados mostraram reduções de 25,8% a 39,6% na infestação em cultivares tratados com Zn. A cultivar BRS Guariba apresentou menor infestação, indicando uma maior resistência. Essa técnica é eficaz para controlar pragas e melhorar a sustentabilidade agrícola.

REFERENCIAL TEÓRICO

CAPÍTULO I

1 REVISÃO DE LITERAUTRA

1.1 Feijão-caupi

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), comumente chamado de feijão-de-corda ou feijão macassar, é alimento básico para as populações de baixa renda do Nordeste brasileiro (Frota, 2018). Dentre os diferentes produtos agrícolas encontrados nas regiões tropicais, o feijão-caupi se destaca pelo alto valor nutritivo e pelo baixo custo de produção. É amplamente cultivado por agricultores familiares, constituindo um dos principais componentes da dieta alimentar, especialmente na zona rural (Almeida et al., 2021).

Essa cultura é geralmente produzida para o consumo de grãos verdes ou maduros, além disso, é bastante utilizada para a adubação verde, pois, a cultura é rica em nutrientes (Vale et al., 2017). O feijão-caupi tem produção estimada na safra de 2023/2024 de 584,5 mil toneladas e área cultivada de 1236,5 mil hectares (Conab, 2023). A expansão da cultura tem ocorrido principalmente para as regiões de cerrado, devido à precocidade e a tolerância ao déficit hídrico em relação a outras culturas. Além disso, o feijão-caupi possui porte ereto, adaptação ao cultivo mecanizado, baixo custo de produção e possibilidade de bons rendimentos, características que são os principais atrativos para o cultivo dessa leguminosa (Bastos et al., 2016).

No Nordeste, os estados de Alagoas (710 kg ha^{-1}), Maranhão (610 kg ha^{-1}), Bahia (577 kg ha^{-1}) e Rio Grande do Norte (543 kg ha^{-1}) apresentam as maiores médias de produtividade (Conab, 2023). Devido ao seu alto valor nutritivo (principalmente como fonte de proteína) e ampla adaptabilidade às condições tropicais, a cultura assume grande importância na fixação de mão-de-obra e geração de emprego e renda no campo. Segundo Nascimento et al. (2010), o feijão-caupi é a cultura granífera de maior importância para o Semiárido brasileiro, principalmente por ser uma das principais culturas de subsistência.

Devido ao ciclo curto e ao volume de solo explorado pelas raízes da cultura, a baixa disponibilidade de nutrientes no solo é um dos principais fatores limitantes da produtividade. Devido ao alto teor de nitrogênio (N) nos grãos e nos demais tecidos, esse nutriente é o mais extraído e exportado pela planta que tem como fontes: matéria orgânica, fertilizantes nitrogenados, via precipitação e a fixação biológica de N_2 (Oliveira, 2013). Considerado como cultura de subsistência familiar, o feijão-caupi ainda carece de informações técnicas e de pesquisas sobre o melhor manejo da cultura, tais como:

cultivares recomendadas, população de plantas, controle de plantas daninhas, insetos e doenças (Geccon; Matoso, 2021), manejo nutricional das plantas, a fim de incrementar a produtividade do feijão-caupi, principalmente em local onde os solos são arenosos e de baixa fertilidade natural. Além desses fatores, a biofortificação com zinco (Zn) nessa cultura, é uma área do conhecimento que carece de estudos, principalmente onde a alimentação é pobre em nutrientes, como o Zn.

Um dos fatores determinantes na produção é a escolha do cultivar. A escolha correta do cultivar para um determinado ambiente e sistema de produção são de grande importância para a obtenção de bons rendimentos (Silva Junior et al., 2015). Portanto, estudar a interação entre genótipo e ambiente torna-se necessário em programas de melhoramento genético, desde a seleção de genitores até a demonstração e introdução de novas variedades. Conforme informação disponível no Registro Nacional de Cultivares do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, atualmente 47 cultivares de feijão-caupi encontram-se registradas para o cultivo no Brasil. Alguns exemplos são: BRS Pujante, BRS Potiguar, BRS Rouxinol, BRS Guariba, BRS-Marataoã, BR 17-Gurguéia– BRS - Mazagão, BRS Pajcu, BRS Xiquexique, IPA 205, BR 14-Mulato, BRS Novaera, BRS Carijó, BRS Tapaihum, IPA 206 e BRS Imponente (Brasil, 2019).

Através do melhoramento genético do feijão-caupi, a Embrapa Meio Norte tem desenvolvido trabalhos de pesquisa que tem como objetivo principal orientar o desenvolvimento de cultivares cujos aspectos morfológicos estejam mais alinhados com a estrutura da planta, que atendem a agricultura familiar e portes mais eretos que atendam a agricultura extensiva. Cordeiro (2019) indica que essas plantas devem apresentar alta resposta à fixação biológica de nitrogênio, alta produtividade, alto teor de proteínas e minerais, principalmente ferro e zinco, assim como boa adaptabilidade e estabilidade aos diferentes biomas do Brasil, o que permite o desenvolvimento de genótipos comercialmente importantes.

Alguns cultivares de feijão-caupi biofortificadas pela Embrapa, destacam-se pelas altas concentrações de proteína, ferro e zinco no grão, respectivamente, tais como: BRS Aracê (25% de proteína, 60 mg kg^{-1} de ferro e 45 mg kg^{-1} de Zn), BRS Xiquexique (23% de proteína, 70 mg kg^{-1} de ferro e 50 mg kg^{-1} de Zn) e BRS Tumucumaque (23% de proteína, 60 mg kg^{-1} de ferro e 50 mg kg^{-1} de Zn) (Rocha et al., 2014). Assim, testar novas técnicas de biofortificação e novos cultivares, pode auxiliar na redução da desnutrição e garantir maior segurança alimentar. Os cultivares comerciais de feijão-caupi BRS Itaim,

BRS Novaera e BRS Guariba, são amplamente cultivadas no Brasil, entretanto, estudos que visam a biofortificação das partes comestíveis dessas cultivares ainda são escassos.

O cultivar BRS Novaera tem porte semiereto, apresenta ramos laterais curtos e tem a inserção das vagens um pouco acima do nível da folhagem. A cor das vagens na maturidade fisiológica e de colheita é amarelo-clara, podendo apresentar pigmentação roxa nos lados das vagens. Tem grãos de cor branca, grandes, reniformes e com tegumento levemente enrugado e anel do hilo marrom (Freire Filho et al., 2008). No estado do Maranhão, o cultivar BRS Novaera apresenta média de produtividade de 1.054,1 kg ha^{-1} (Freire Filho et al., 2008). Além disso, apresenta alta resistência ao acamamento e uma boa desfolha natural. Com essas características, tem um grande potencial para colheita mecânica direta, com uma leve dessecação e, em solos mais arenosos e ambientes mais secos, sem dessecação. Tem grãos bem formados no padrão de preferência de uma grande faixa de consumidores, tanto no mercado nacional quanto no mercado internacional (Freire Filho et al., 2008; Gonçalves, 2012).

O cultivar BRS Itaim tem grãos fradinhos típicos, bem formados e com excelente apelo visual. O halo preto é bem delineado (Vilarinho et al., 2010), tem teores médios de proteína, ferro e zinco e tem cozimento rápido, de 20 minutos e 55 segundos. Tem hábito de crescimento determinado, porte ereto, semiprecoce, alta resistência ao acamamento, tem o início do florescimento em torno de 35 dias após a semeadura e ciclo de 60 a 65 dias (Freire Filho et al., 2009). A média de produtividade de grãos da cultivar BRS Itaim no Nordeste é de 1.165 kg ha^{-1}. Por outro lado, para o cultivo irrigado por aspersão convencional a média de produtividade foi de 1.373 kg ha^{-1} (Conab, 2011). Em outros estudos realizados pelos mesmos autores, a média da produtividade no cultivo de sequeiro foi alta, com a maior produtividade alcançando 2.655 kg ha^{-1}. Uma característica específica da cultivar BRS Itaim é a casca da vagem muito fina, o que explica o seu índice de grão de 81%. Desse modo, a colheita dos grãos deve ser feira imediatamente após a secagem das vagens para que não haja comprometimento da qualidade da produção (Freire Filho et al., 2009).

O cultivar BRS Guariba possui tegumento branco, é resistente a diversas doenças e tem boa adaptabilidade em diferentes ecossistemas do país, sobretudo nas regiões Nordeste, Norte e Centro Oeste, onde sua área de produção é principalmente para cultivo em safrinha. Embora de crescimento indeterminado, o cultivar tem ramos relativamente curtos e apresenta resistência ao acamamento, característica que facilita a colheita, já que as vagens ficam posicionadas acima da folhagem, o que melhora tanto a visualização das

vagens como a colheita propriamente dita. O porte mais ereto facilita a colheita mecânica, visto que as vagens ficam suspensas, e a máquina pode colher com mais facilidade (Gonçalves et al., 2012). Em termos de produtividade, no Maranhão a média é de 1.508 kg ha^{-1} (Conab, 2023).

1.2 Biofortificação

A biofortificação de alimentos teve início em 1993 pelo economista Howarth E. Bouis do Instituto Internacional de Pesquisa sobre Políticas Alimentares (IFPRI), quando à época apresentou-se à comunidade científica a ideia de genótipos de plantas visando maiores teores de minerais e vitaminas na parte comestível dos alimentos. Os produtos agrícolas (alimentos) são as fontes primárias de nutrientes para a população (Oliveira, 2019; Menegassi et al., 2018). A população mundial cresce rapidamente e estima-se que em 2050 atingirá cerca de nove bilhões de pessoas. Em consequência disso, a demanda crescente de produtos agrícolas, acompanhando tal ritmo da população. Mais de 1,02 bilhões de pessoas não consomem alimentos em quantidades suficientes atualmente. Diante disso, a qualidade nutricional desses alimentos, bem como a fertilidade dos solos cultivados, pode ser prejudicada caso não se aplique manejo adequado nos processos de produção (Corbo, 2014).

Os vegetais biofortificados podem complementar as intervenções em andamento, constituindo-se uma maneira viável e de baixo custo para populações carentes. Os alimentos biofortificados são produzidos por meio de duas formas: a) biofortificação genética: pelo melhoramento genético de plantas para extraírem maiores teores de um determinado nutriente alvo ou b) biofortificação agronômica: por meio de incrementos na adubação via solo e/ou aplicação foliar e/ou pelo tratamento de sementes (Dimkpa; Bindraban 2016; Ghasal et al., 2017). O programa mundial “HarvestPlus”, criado em 2005, é reconhecido como exemplo de sucesso na rede de biofortificação (Harvest Plus, 2017). O programa visa o melhoramento das culturas de feijão, arroz, milho, mandioca, trigo e batata-doce. Além deste, temos a aliança AgroSalud como outro exemplo de sucesso, tendo como objetivo desenvolver melhores cultivares de arroz, milho, feijão e batata, eficientes no uso de insumos agrícolas, da água e de alto valor agronômico (Agrosalud, 2017). No Brasil, através da rede de estudos “BioFORT”, as espécies de trigo, arroz, feijão e feijão-caupi (com teores elevados de Zn e Fe), mandioca, milho, batata doce e abóbora (com maior teor de β-caroteno, pró-vitamina A) são estudadas, visando à biofortificação (Carvalho; Nutti, 2013).

Graciano (2019) avaliou o efeito de diferentes doses de zinco via adubação foliar em quatro cultivares de alface crespa, visando a biofortificação. Concluiu-se que todas os cultivares de alface avaliadas podem ser consideradas biofortificadas, porém, o cultivar Thaís destacou-se por apresentar alto teor de zinco foliar, além de resultados satisfatórios para a maioria das características agronômicas avaliadas. Ademais, observou-se que as doses de 300 a 706 g ha^{-1} de zinco via foliar podem ser utilizadas para serem aplicadas na cultura da alface por proporcionarem plantas biofortificadas sem afetar a grande maioria das características produtivas da cultura. Alves (2017), avaliando as formas de aplicação de Zn no feijão-caupi, observou que os teores de Zn nas folhas e grãos aumentaram com aplicação desse micronutriente, mesmo em solos com teores acima do nível crítico. Não foi observado incremento de produtividade em razão da aplicação de Zn, no entanto, observou-se relação inversa entre produtividade e concentrações de Zn nos grãos de feijão-caupi.

1.3 Zinco nas plantas e na alimentação humana

Os micronutrientes são responsáveis por desempenharem funções vitais no metabolismo das plantas, seja como parte de compostos que atuam em processos metabólicos e fisiológicos, seja como ativadores enzimáticos (Moreira, 2015). O zinco (Zn) apresenta-se na solução do solo na forma de Zn^{2+}, que se trata também da forma com a qual é absorvida pelas raízes das plantas. Possui dinâmica no solo considerada complexa, tendo sua disponibilidade afetada pelo teor de matéria orgânica, pH, concentração de outros nutrientes, a citar o cobre, ferro, manganês e fósforo, além de teores de argila e do próprio sistema de produção agrícola. O íon fosfato reduz substancialmente a quantidade de Zn na solução do solo mediante reações de precipitação, formando compostos de baixa solubilidade, como o $Zn_3(PO_4)_2.4H_2O$. Estima-se que a concentração de Zn diminui cerca de 100 vezes para cada aumento de uma unidade de pH (Furtini Neto et al., 2001; Behera et al., 2011).

Segundo Muner et al. (2011), a aplicação de Zn em solos carentes deste micronutriente promove o aumento da produtividade das culturas agrícolas, bem como enriquecimento nos teores de Zn das plantas. Nas pesquisas de biofortificação agronômica com Zn a solubilidade do fertilizante é considerada critério importante para obtenção de sucesso com uso da técnica. Entre as fontes mais solúveis de Zn, de maior destaque pelo uso em estudos com biofortificação agronômica, tem-se o quelato, o óxido, o carbonato, o cloreto, o oxissulfato, o sulfato de zinco, fertilizantes líquidos, além de

soluções coquetéis com outros micronutrientes (Kutman et al., 2011). De maneira geral, no Brasil, como fonte de Zn, tem-se utilizado predominantemente o sulfato de zinco devido sua alta solubilidade e baixo custo em relação à outras fontes.

Os fertilizantes contendo Zn podem ser aplicados na agricultura por via solo, foliar e por meio da incorporação junto às sementes. Quando o Zn é aplicado junto à semente das culturas agrícolas, as doses a serem aplicadas são reduzidas em relação a outros métodos de aplicação. Quando a aplicação do Zn for através do solo, doses maiores são utilizadas em detrimento de outras técnicas de aplicação, já que se deve considerar a interação entre o solo e o Zn, que invariavelmente leva a retenção do micronutriente na fração sólida do solo, principalmente pelos óxidos de Fe, Manganês, titânio e alumínio (Han et al., 2011; Steiner et al., 2011). Segundo Valladares et al. (2009), embora as concentrações de Zn nos solos sejam consideradas altas, somente uma pequena fração está disponível às plantas. Atualmente, na agricultura, a carência de estudos com potenciais fontes de Zn tem se configurado um sério problema no sucesso de ensaios de produtividade ou biofortificação agronômica.

1.4 Resistência de plantas aos percevejos em feijão-caupi

A ocorrência de pragas nas lavouras de feijão-caupi pode ocasionar perdas significativas aos produtores (Sousa et al., 2019). Nessa cultura, os percevejos são considerados uma das principais pragas, devido aos danos que causam às plantas, com impactos negativos no crescimento, produção e qualidade de grãos (Silva; Athayde Sobrinho, 2019). Ao se alimentar das vagens das plantas, os percevejos injetam secreções salivares para succionar a seiva, o que pode ocasionar má formação de vagens e grãos, bem como redução da produtividade em casos mais severos (Maziero et al., 2010). O complexo de percevejos em feijão-caupi compreende cerca de 14 espécies da família Pentatomidae e cinco da família Coreidae. As principais espécies da família Pentatomidae são: *Euchistus heros* (Fabr.), *Chinavia ubica* (Rolston) e *Piezodorus guildinii* (Westwood) e da família Coreidae são: *Crinocerus sanctus* (Fabr.) e *Hypselonotus fulvus* (De Geer) (Silva; Athayde Sobrinho, 2019).

Dificuldades no controle de percevejos são encontradas pelos produtores de feijão-caupi no Brasil. Estratégias de manejo com inseticidas não certificados são utilizadas, uma vez que não existem produtos certificados para o controle de percevejo no país (Agrofit, 2024). Entretanto, o uso indiscriminado de pesticidas sintéticos no

manejo de pragas pode desencadear problemas como a seleção de insetos resistentes, contaminação ambiental, mortalidade de inimigos naturais (Bacci et al., 2007; Horowitz; Ishaaya, 2014; Chagnon et al., 2015). Dessa forma, outras abordagens de manejo merecem investigação, como a seleção de cultivares de feijão-caupi que sejam mais resistentes aos percevejos.

A resistência da planta hospedeira é uma ferramenta importante para o manejo integrado de pragas (MIP), pois é de baixo custo, durável e compatível com outros métodos de controle (Smith; Clement, 2012; Boiça Júnior et al., 2013). Estudos tem demonstrado que cultivares/variedades de feijão-caupi podem ser resistentes por serem menos preferidas para alimentação dos percevejos, com redução de danos nos grãos (Jackai et al., 2001; Singh et al., 2002; Togola et al., 2017). A espessura da casca da vagem pode ser um fator que pode estar associado a resistência da planta ao percevejo. Essa característica pode ser inerente a morfologia da planta que pode interferir na escolha dos percevejos (Togola et al., 2017; Baldin et al., 2012).

Além das características morfológicas das plantas, as funções dos micronutrientes na defesa das plantas são predominantemente documentadas para Mn, Cu, Fe e Zn (Graham; Webb, 1991; Dordas, 2008; Fones; Preston, 2013). O Zn tem papel importante nas respostas imunológicas de animais (Hojyo; Fukada, 2016) e de plantas (Shirasu et al., 1999; Gupta et al., 2012). As altas concentrações desses elementos nos tecidos vegetais podem proteger as plantas contra pragas e doenças (Poschenrieder et al., 2006). As plantas hospedeiras com altas concentrações de Zn nos tecidos do vegetal pode induzir o acúmulo de metal nos corpos e ovos dos insetos, o que reflete em menor fecundidade, taxas de crescimento populacional reduzidas e altas taxas de mortalidade (Cabot et al., 2019).

REFERENCIAS

AGROFIT - Sistema de Agrotróxicos Fitossanitários - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Coordenação Geral de Agrotóxicos e Afins/DFIA/DAS (2024). Available from: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons).

AGROSALUD, 2017. Disponível em: http://www.agrosalud.org/. Acesso em: 19 outubro 2023.

ALVES, L. V. F. V. Estratégias de adubação com zinco para biofortificação agronômica do feijão-caupi. 2017. 71f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em Agricultura Tropical, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2017.

BACCI, L. et al. Toxicity of insecticides to the sweetpotato whitefly (Hemiptera: Aleyrodidae) and its naturais enemies. **Pest Management Science: formerly Pesticide Science**, v. 63, n. 7, p. 699-706, 2007.

BOIÇA JÚNIOR, A.L; CAMPOS, Z. R.; CAMPOS, A.R.; VALÉRIO FILHO, W.V; CAMPOS, O. R. *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in cotton: vertical distribution of egg masses, effects of adult density and plant age on oviposition behavior. **Arq Inst Biol**, 80: 424-429, 2013.

BASTOS, E.A. A cultura do feijão-caupi no Brasil. In: SILVA, K.J.D.; Rocha, M.M.; MENEZES JÚNIOR, J.A.N. **Socioeconomia**. Teresina: Embrapa Meio Norte, p. 6-12. 2016.

BEHERA, S. K. et al. Distribution variability of total and extractable zinc in cultivated acid soils of India and their relationship with some selected soil properties. Geoderma, Amsterdam, v.162, n.3, p.242-250, 2011.

BALDIN, E. L.; VENDRAMIM, J. D; LOURENÇÃO, A. **Resistência de plantas a insetos: fundamentos e aplicações**, *[s.l]*, p. 493, 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura Pecuária e abastecimento. Registro Nacional de Cultivares - RNC. Cultivar Web, 2019.

CABOT, C.; MARTOS, S.; LLUGANY, M.; GALLEGO, B.; TOLRÀ, R.; POSCHENRIEDER, C. A role for zinc in plant defense against pathogens and herbivores. Frontiers in plant science, 10, 1171, 2019.

CARVALHO, J. L. V.; NUTTI, M. R. Biofortificação de produtos agrícolas para nutrição humana. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 64., 2013, São Luís. Anais [...] São Luís: SBPC: UFMA, 2013.

CHAGNON, Madeleine et al. Risks of large-scale use of systemic insecticides to ecosystem functioning and services. **Environmental science and pollution research**, v. 22, p. 119-134, 2015.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos,** v. 3 - SAFRA 2021/22 - n. 5 - Segundo levantamento. Maio, 2023.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos,** v. 6 - SAFRA 2010/11 - n. 9 - Oitavo levantamento. Maio, 2011.

CORBO, J. Z. F. Biofortificação do feijão e do milho com selênio. 2014. 65f. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical) – IAC, Campinas, 2014.

CORDEIRO, K. A. Avaliação de linhagens melhoradas de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.Walp) na região noroeste fluminense para estudo de valor de cultivo e uso. Rio de Janeiro, 2019. 96 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2019.

DIMKPA CO, BINDRABAN PS. Fortification of micronutrients for efficient agronomic production: a review. Agron Sustain Dev. 36:7. doi:10.1007/s13593-015-0346-6, 2016.

DORDAS, Christos. Role of nutrients in controlling plant diseases in sustainable agriculture. A review. **Agronomy for sustainable development**, v. 28, p. 33-46, 2008.

FONES, Helen; PRESTON, Gail M. Reactive oxygen and oxidative stress tolerance in plant pathogenic Pseudomonas. FEMS microbiology letters, v. 327, n. 1, p. 1-8, 2012.

FREIRE FILHO, F. R. et al. BRS Novaera: cultivar de feijão-caupi de porte semiereto. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. 4 p. (Comunicado Técnico, 215).

FREIRE FILHO, F. R., ROCHA, M. D. M., RIBEIRO, V. Q., SILVA, K., LOPES, A., CRAVO, M. S., & CARVALHO, J. BRS Itaim: cultivar de feijão-caupi com grãos do tipo fradinho. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2., 2009, Belém, PA. Da agricultura de subsistência ao agronegócio: anais. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. p. 344-348, 2009.

FROTA. K. M. G.; SOARES. R. A. M.; ARÊAS. J. A G. Composição química do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio. **Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas**, 28(2): 470-476, 2018.

FURTINI NETO, A. E. et al. Fertilidade do solo. Lavras: ULFA/FAEPE. 261p, 2001.

GECCON, G.; MATOSO, A. O. Feijão-caupi é pesquisado no centro oeste. Jornal agrosoft Brasil, [S.l.], 2011. Disponível em: <http://www.agrosoft.org.br/ agropag/216241.htm> Acesso em: 19 outubro 2020.

GHASAL P.C.; SHIVAY Y.S.; POONIYA V.; CHOUDHARY M.; VERMA R.K. Response of wheat genotypes to zinc fertilization for improving productivity and quality. **Arch Agron Soil Sci**. 63(11):1597–1612, 2017.

GONÇALVES, J. R. P. BRS Novaera: cultivar de feijão-caupi para cultivo em várzeas do Amazonas. 2012.

GRACIANO, P. D. Biofortificação agronômica com zinco em cultivares de alface crespa. 2019. 36f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

GRAHAM, Robin D.; WEBB, Michael J. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. Micronutrients in agriculture, v. 4, p. 329-370, 1991.

GUPTA, S. K.; RAI, A. K.; KANWAR, S. S.; SHARMA, T. R. Comparative analysis of zinc finger proteins involved in plant disease resistance. 2012.

HAN, X. et al. Zinc fractions and availability to soybeans in represent soils of Northeast China. **Journal of Soils and Sediments**, Brisbane, v.11, n.1, p.596-606, Oct., 2011.

HARVESTPLUS. Disponível em: http:// www.harvestplus.org. Acesso em: 19 outubro 2020.

HOJYO, Shintaro et al. Roles of zinc signaling in the immune system. Journal of immunology research, v. 2016, 2016.

HOROWITZ, Abraham Rami; ISHAAYA, Isaac. Dynamics of biotypes B and Q of the whitefly *Bemisia tabaci* and its impact on insecticide resistance. **Pest management science**, v. 70, n. 10, p. 1568-1572, 2014.

JACKAI, L.E.N; NOKOE, S.; TAYO, B.O.; KOONA, P. Inferences on pod wall and seed defences against the brown cowpea coreid bug, *Clavigralla tomentosicollis* Stal. (Hem., Coreidae) in wild and cultivated Vigna species. **Journal Appl Entomol** 125(5):277–286, 2001.

KUTMAN, U. B. et al. Biofortification of durum wheat with through soil and foliar applications of Nitrogen. **Cereal Chemestry**, Saint Paul, v. 87, n. 1, p 1- 9, 2011.

MAZIERO, Priscila. Estudos topoquímicos durante obtenção de etanol a partir de celulose de bagaço e palha de cana-de-açúcar. 2010. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

MENEGASSI, B., ALMEIDA, J. B., OLIMPIO, M. Y. M., BUNHARO, M. S. M.; LANGA, F. R. A nova classificação de alimentos: teoria, prática e dificuldades. MUNER, L. H. et al. Disponibilidade de zinco para o milho em resposta à localização de fósforo no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.1, p.29-36., 2011.

MUNER, L. H. et al. Disponibilidade de zinco para o milho em resposta à localização de fósforo no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.1, p.29-36., 2011.

NASCIMENTO, L. R. S.; SOUSA, C. A.; SANTOS, C. E. R. S.; FREITAS, A. D. S.; VIEIRA, I. M. M. B.; SAMPAIO, E. V. S. B. Eficiência de isolados de rizóbios nativos do agreste paraibano em caupi. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 36-42, 2010.

OLIVEIRA, D.P. Adubação nitrogenada, inoculação com estirpes de rizóbios e tratamentos fungicidas de sementes em feijoeirocomum cv. BR SMG Madrepérola. 180f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2013.

OLIVEIRA, F. S. D. Biofortificação agronômica do milho verde com ferro e zinco. 2019.

POSCHENRIEDER, Charlotte; TOLRÀ, Roser; BARCELÓ, Juan. Can metals defend plants against biotic stress. Trends in plant science, v. 11, n. 6, p. 288-295, 2006.

ROCHA, M. de M. et al. Biofortificação [do] feijão-caupi. 2014.

SHIRASU, Ken et al. Cell-autonomous complementation of mlo resistance using a biolistic transient expression system. **The Plant Journal**, v. 17, n. 3, p. 293-299, 1999.

SILVA JUNIOR, J. F.; LOPES, M. C.; CARDOSO, S. S. Características biométricas em cultivares de feijão-caupi. Holos Environment, Rio Claro, SP, v. 15, n. 1, 2015.

SILVA, P. H. S.; ATHAYDE SOBRINHO, C. Guia prático de reconhecimento e controle das principais pragas do feijão-caupi. 2019.

SINGH, B. B.; EHLERS, J. D.; SHARMA, B.; FREIRE FILHO, F.R. Recent progress in cowpea breeding. Fatokun CA, Tarawali SA, Singh BB, Kormawa PM, pp 22–40, 2002.

SOUSA, K. K. A.; SILVA, N. N. P.; SILVA, R. B. Q. da; SILVA, P. H. S. da; GRAZIA, J. Diversity, seasonality, and egg parasitism of hemipteran (Coreidae and Pentatomidae) from a cowpea crop in northeastern Brazil. **Florida Entomologist,** v. 102, n. 1, p. 29-35, 2019.

SMITH, C. M.; CLEMENT, S.L. Molecular bases of plant resistance to arthropods. **Annu Rev Entomol**, 57: 309-328, 2012.

STEINER, F. et al. Zinco e nitrogênio no desempenho agronômico do milho safrinha. Gl. Sci. Technol., v.4, n. 2, p. 09-17, 2011.

TOGOLA, A.; BOUKAR, O.; BELKO, N.; CHAMARTHI, S. K.; FATOKUN, C.; TAMO, M., & OIGIANGBE, N. Host plant resistance to insect pests of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.): achievements and future prospects. **Euphytica,** v. 213, p. 1-16, 2017.

VALE, J.C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. **Feijão-caupi do plantio à colheita.** Viçosa: Ed.UFV, 2017.

VALLADARES, G. S. et al. Zinco total e disponível em amostras de perfis de solos do estado de São Paulo. **Bragantia**, v.68, n.4, p.1105-1114, 2009.

VILARINHO, A. A., ROCHA, M. D. M., FREIRE FILHO, F. R., & COELHO, G. BRS ITAIM: Cultivar de Feijão-caupi com Grãos Tipo Fradinho, 2010.

Efeitos da aplicação de zinco no desempenho produtivo e no enriquecimento dos grãos de cultivares de feijão-caupi com zinco

---

CAPÍTULO II

ABSTRACT

Agronomic biofortification is a relatively inexpensive and efficient technique for increasing zinc (Zn) content in food. The objective of this study was to evaluate the effects of the combination of Zn applied to soil and foliage on productivity and zinc content increment in grains of cowpea cultivars. Two field trials were conducted in 2022. Four treatments involving Zn (control, Zn applied to soil (ZnS), Zn applied to foliage (ZnF), and ZnS + ZnF) were combined with three cowpea cultivars (BRS Novaera, BRS Itaim, and BRS Guariba). The experimental design was randomized complete blocks, with four replications. Productivity ranged from 1241 to 1797 kg ha^{-1}. The interaction between treatments involving Zn and cultivars was highly significant for productivity and not significant for Zn content in grains. Treatments involving Zn increased the productivity of cultivar BRS Novaera by 18% and the productivity of cultivar BRS Guariba by 19%. In this cultivar, ZnS increased productivity by 17% compared to ZnF. Plants that received Zn produced grains with a 18% higher Zn content than those that did not receive Zn. Plants that received ZnS + ZnF produced grains with a 12% higher Zn content than those that received ZnS or ZnF alone. Plants that received ZnF produced grains with a 25% higher Zn content than those that received ZnS. The results suggest that the application of 5 kg ha^{-1} of Zn to soil and 4 kg ha^{-1} to foliage at the beginning of flowering increases the productivity and Zn content in cowpea grains.

Keywords: *Vigna unguiculata*, Zn, nutritional deficiencies, food quality.

RESUMO

A biofortificação agronômica é uma técnica relativamente barata e eficiente para aumentar o teor de zinco (Zn) nos alimentos. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da combinação do Zn aplicado no solo e na folhagem na produtividade e no incremento do teor de Zn nos grãos de cultivares de feijão-caupi. Foram realizados dois ensaios em campo, em 2022. Foram combinados quatro tratamentos envolvendo Zn (controle, Zn aplicado no solo (ZnS), Zn aplicado na folhagem (ZnF) e ZnS + ZnF) com três cultivares de feijão-caupi (BRS Novaera, BRS Itaim e BRS Guariba). O delineamento foi em blocos casualizados, com quatro repetições. A produtividade variou de 1241 a 1797 kg ha^{-1}. A interação entre tratamentos envolvendo Zn e cultivares foi altamente significativa para a produtividade e não significativa para o teor de Zn nos grãos. Os tratamentos envolvendo Zn aumentaram 18% a produtividade da cultivar BRS Novaera e 19% a produtividade da cultivar BRS Guariba. Nesta cultivar, o ZnS aumentou 17% a produtividade em relação ao ZnF. Plantas que receberam Zn produziram grãos com teor de Zn 18% maior que os grãos das plantas que não receberam Zn. Plantas que receberam ZnS + ZnF produziram grãos com teor de Zn 12% maior que os grãos das plantas que receberam ZnS ou ZnF. Plantas que receberam ZnF produziram grãos com teor de Zn 25% maior que os grãos das plantas que receberam ZnS. Os resultados obtidos sugerem que a aplicação de 5 kg ha^{-1} de Zn no solo e 4 kg ha^{-1} na folhagem no início da floração aumenta a produtividade e o teor de Zn nos grãos de feijão-caupi.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, Zn, deficiências nutricionais, qualidade alimen tar.

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) é considerado um dos principais componentes da dieta alimentar das famílias rurais e urbanas do Norte e Nordeste do Brasil, por ser rico em proteína, minerais e fibras (SNA, 2017; Embrapa Arroz e Feijão, 2020). Ainda, essa cultura é considerada como fonte de emprego e renda para a maioria dessas famílias. Visto a importância desse produto agrícola como fonte primária de nutrientes, percebe-se que com o aumento da população, maiores quantidades desse alimento serão requeridas.

No Nordeste, a produtividade do feijão-caupi é de 377 kg ha^{-1}, 19% menor que a média em todo o país na safra 2022/2023, que é de 466 kg ha^{-1}. No Maranhão, a área total cultivada é de 47,8 mil hectares, com produção de 28,9 mil toneladas, e com produtividade de 604 kg ha^{-1} (Conab, 2023). O uso dessa leguminosa tem se expandido de forma mais intensa no Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. O feijão-caupi é consumido em vários países e fatores como baixa exigência para produção, boa qualidade nutricional e a escassez de alimentos a nível mundial, sugerem que essa leguminosa tem perspectivas muito boas no mercado internacional (Freire Filho et al., 2011; Melo et al., 2018).

No Nordeste, grande parte da área plantada é ocupada por feijão-caupi, no entanto, a produtividade é baixa (Freire Filho et al., 2011; Embrapa Arroz e Feijão, 2020). No Maranhão, a produtividade de ~500 kg/ha de feijão-caupi é considerada baixa (Conab 2023), especialmente pela deficiência de nitrogênio (N) e fósforo (P) no solo (Aguiar et al., 2010). O solo maranhense é composto por arenito fino (proporção de areia fina > 500 g kg^{-1}, teor de silte de 60-80 g kg^{-1} e argila de 100-150 g kg^{-1}), e possui baixa capacidade de retenção de cátions, ácidos e baixa disponibilidade dos principais nutrientes responsáveis pelo crescimento e desenvolvimento das plantas (Aguiar et al., 2010). Mesmo nessas características de solo, o feijão-caupi é uma cultura menos exigente em termos de nutrientes e ao déficit hídrico.

Embora a produção de alimentos tenha acompanhado o crescimento populacional, uma população estimada em dois bilhões de pessoas que sofre com deficiência de micronutrientes (FAO, 2015; Welch, 2016; Graham et al., 2017). No entanto, mais estudos sobre a biofortificação dos alimentos com micronutrientes, principalmente ferro (Fe) e zinco (Zn), são necessários para aliviar a deficiência desses micronutrientes nas famílias mais carentes. Essa é uma realidade ainda presente nas famílias maranhenses.

O Zn é um mineral que se encontra distribuído em todo o corpo humano e a sua recomendação diária para obter uma dieta nutricional eficiente é 15 mg de Zn por dia

(National Research Council, 2001). O programa HarvestPlus definiu que os grãos de feijão-comum devem conter em torno de 56 mg kg^{-1} para ser considerado como biofortificado (White e Broadley, 2011). Apesar da quantidade, estratégias para aliviar a deficiência nutricional de Zn inclui-se a suplementação (medicamentos), a fortificação (fornecimento de alimentos ricos em Zn - industrializados) e a biofortificação. A biofortificação tem o objetivo de aumentar os teores de Fe e Zn nos grãos das culturas, de forma suficiente e sustentável e pode ser alcançada pelas técnicas transgênica, genética e agronômica (Bouis e Saltzman, 2017; Cakmak e Kutman, 2018; Garg et al., 2018).

Com o propósito de avaliar os benefícios da biofortificação agronômica, pesquisas realizadas em diversos países como China, Austrália, Índia, Brasil, entre outros, com aplicação de Zn na folhagem e no solo, demonstraram que é possível incrementar o teor de Zn nos grãos de trigo, arroz e feijão-comum (Phattarakul et al., 2012; Ram et al., 2016; Cambraia et al., 2019). Nesse contexto, Cambraia et al. (2019) conduziram ensaios em casa de vegetação com feijão-comum e mostraram que a aplicação de 7,8 kg ha^{-1} de Zn na folhagem combinada com a aplicação de 5 kg ha^{-1} de Zn no solo ou a aplicação de 4,9 kg ha^{-1} de Zn na folhagem combinada com a aplicação de 10 kg ha^{-1} de Zn no solo proporcionou o máximo teor de Zn nos grãos (67,5 e 66,0 mg kg^{-1}, respectivamente). Na Índia, estudo conduzido em campo com solo de textura franco-arenosa, pH = 8,3, CE 0,22 dSm^{-1} e baixo teor de carbono (0,22%), duas aplicações de Zn (0,3% de $ZnSO_4 \cdot H_2O$) na folhagem combinado com a aplicação de 16 kg ha^{-1} de Zn no solo aumentou 43,7% a produtividade de grãos e 22,7% o teor de Zn nos grãos de feijão-caupi comparado com o controle (Kumar e Dhaliwal, 2022). Esses resultados mostram que a combinação do Zn aplicado no solo e na folhagem é favorável para incrementar a produtividade de grãos e o teor de Zn no grão de leguminosas.

Estudos tem sido conduzidos com ênfase na biofortificação com Zn dos cereais (Cakmak; Kutman 2018; Dhaliwal et al., 2020), e pouca atenção tem sido dada à biofortificação das leguminosas em condições de campo (Manzeke et al., 2017; Rehman et al., 2018). Ademais, o enriquecimento dos grãos do feijão-caupi com Zn pela biofortificação agronômica poderá ser uma estratégia eficiente para manter a produtividade e aliviar a deficiência de Zn de grande parte da população carente.

Não foram encontrados estudos sobre os efeitos do Zn aplicado no solo e na folhagem no desempenho produtivo e no incremento desse micronutriente nos grãos de cultivares de feijão-caupi cultivados em solos ácidos, arenosos e de baixa fertilidade natural.

3. HIPÓTESES

A adubação com Zn, no solo e/ou folhagem, na fase de início da floração, aumenta a produtividade e o teor de Zn nos grãos de cultivares de feijão-caupi.

4. OBJETIVOS

Avaliar os efeitos da adubação com Zn, aplicado no solo e/ou na folhagem, no desempenho produtivo e no incremento do teor de Zn nos grãos de feijão-caupi.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Localização dos ensaios, condições climáticas e características do solo

Foram conduzidos dois ensaios em campo: um experimento de 01 junho a 06 de agosto de 2022 (Ensaio 1) e outro de 11 de outubro a 15 dezembro de 2022 (Ensaio 2). Os ensaios foram conduzidos na área experimental da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), no Campus São Luís, São Luís/MA (2º 30' S e 44º 18' W, altitude de 24 m). Os ensaios foram realizados em diferentes talhões (glebas). O clima da região na classificação de Köppen é do tipo AW', equatorial quente e úmido, com duas estações bem definidas: uma chuvosa, que se estende de janeiro a junho, e outra de estiagem, com déficit hídrico acentuado de julho a dezembro. A precipitação acumulada foi de 2452,2 mm, das quais mais de 80% ocorreram de janeiro a junho (Figura 1). A média da temperatura máxima anual foi 31,3 ºC e a mínima, 24,7 ºC.

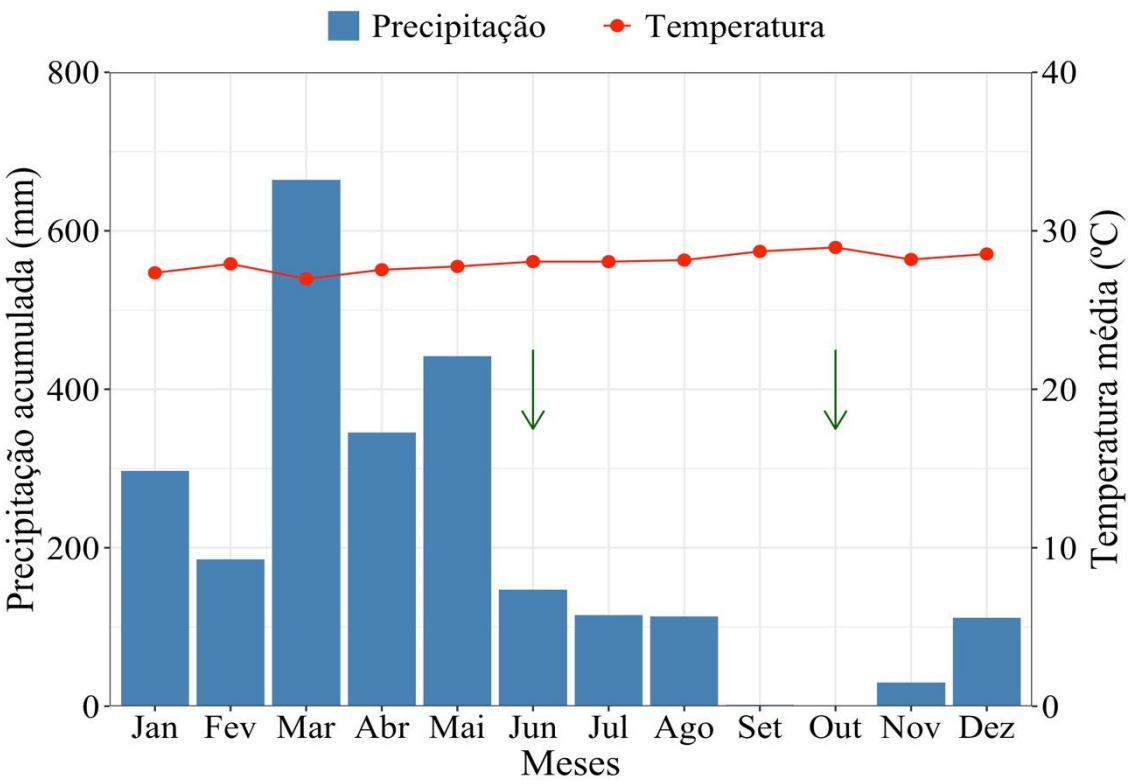

Figura 1. Precipitação acumulada mensal e temperatura média durante a execução dos ensaios conduzidos em São Luís – MA, (2022). Fonte: Dados da Rede do INMET, São Luís, MA. Setas indicam a época de plantio dos ensaios.

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico arênico com textura franco arenosa (Embrapa, 2013). Antes da instalação dos ensaios foram coletadas amostras de solo na camada de 0-20 cm para determinar suas características físicas e químicas (Tabela 1), conforme método descrito por Raij et al. (2001).

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo na profundidade de 0-20 cm, antes da implantação dos ensaios, São Luís/MA, em 2022.

Características do solo	Ensaio 1	Ensaio 2
pH[a]	4,4	3,5
P[b] (mg dm^{-3})	6,0	6,0
K[b] (mmolc/dm^3)	3,0	2,8
Ca[b] (mmolc/dm^3)	18,0	6,0
Mg[b] (mmolc/dm^3)	12,0	2,0
H + Al[b] (mmolc/dm^3)	26,0	49,0
MO [b] (g dm^{-3})	19,0	18,0
CTC[c] (mmolc/dm^3)	39,0	59,8
Areia grossa (g/kg)	270	230
Areia fina (g/kg)	560	570
Silte (g/kg)	50	100
Argila (g/kg)	120	100

[a]Medido em 0,01 M $CaCl^2$ usando a razão solo/solução de 1:2,5 (v/v).
[b]De acordo com van Raij, Andrade, Cantarella e Quaggio (2001).
[c]CTC, capacidade de troca catiônica em pH 7: Ca^{2+}+ Mg^{2+} + K^+ e H^+ + Al^{3+}.

5.2 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram combinados envolvendo quatro níveis de aplicação de Zn (controle, Zn aplicado no solo (ZnS), Zn aplicado na folhagem (ZnF) e (ZnS + ZnF) com três cultivares de feijão-caupi (BRS Novaera, BRS Itaim e BRS Guariba). Os ensaios foram conduzidos no delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições. A descrição dos tratamentos envolvendo Zn e os contrastes ortogonais testados nos ensaios estão apresentados na Tabela 2. O Zn no solo foi aplicado no sulco antes da semeadura, e na folhagem, o Zn foi aplicado no início da floração (≈ 30 dias após a emergência - DAE). A fonte de Zn foi o sulfato de zinco ($ZnSO_4.7H_2O$). A solução de Zn aplicada na folhagem foi realizada com pulverizador manual com bico do tipo leque (XR 110-02), com volume de calda de 250 L ha^{-1}. Todas as parcelas que receberam a aplicação na folhagem foram protegidas por meio de lonas plásticas para evitar a deriva da solução.

As parcelas experimentais constaram de quatro fileiras de 4,0 m de comprimento, espaçadas de 0,6 m. A área útil da parcela foi de 3,6 m^2. Foram semeadas 12 sementes por metro de sulco. As duas linhas externas e 0,5 m de cada extremidade das fileiras centrais serviram como bordadura (Figura 2). Foram utilizadas três cultivares de feijão-caupi (BRS Novaera, BRS Itaim e BRS Guariba), obtidas do banco de sementes da Embrapa Meio Norte, Teresina – PI, Brasil.

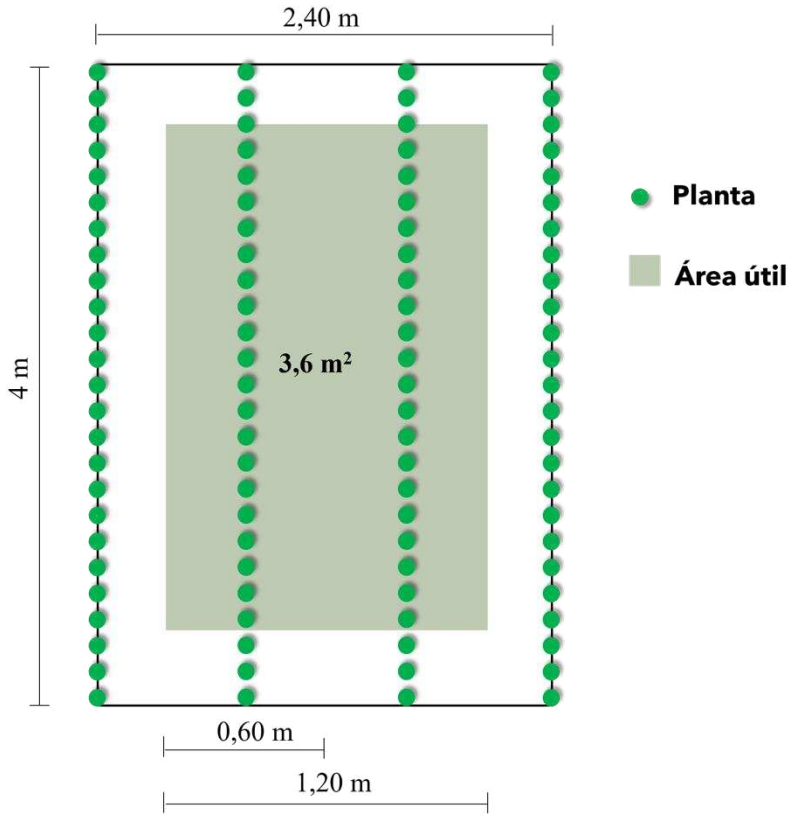

Figura 2. Representação da parcela experimental com área útil e disposição das plantas, nos dois ensaios, São Luís, em 2022.

Tabela 2. Descrição dos tratamentos envolvendo Zn e os contrastes ortogonais testados nos dois ensaios com cultivares de feijão-caupi, São Luís, em 2022.

Tratamentos	Aplicação de Zn	
	Solo (kg/ha)	Folhagem (kg/ha)
1.	-	-
2.	5,0	-
3.	-	4,0
4.	5,0	4,0
Contrastes ortogonais (C)		
C1= 1 *vs* 2-4. Testar o efeito da aplicação do Zn.		
C2= 2-3 *vs* 4. Testar o efeito do Zn aplicado no solo ou na folhagem *vs* Zn aplicado no solo e na folhagem.		
C3= 2 *vs* 3. Testar o efeito do Zn aplicado no solo vs o Zn aplicado na folhagem.		

5.3. Instalação e condução dos ensaios

A vegetação predominante foi cortada por meio de uma roçadeira manual anteriormente ao plantio e deixada sobre o solo. O solo não recebeu nenhum preparo mecanizado para a semeadura, replicando modelo comumente utilizado pelos agricultores da região.

No sulco de plantio foram aplicados 500 kg ha^{-1} da formulação comercial 04-14-08 (N-P_2O_5-K_2O). Em cobertura, foram aplicados 100 kg ha^{-1} de N, na forma de ureia (45% de N), de forma parcelada, sendo metade aos 20 DAE e outra metade aos 30 DAE. O adubo nitrogenado foi aplicado em sulco a 5 cm de profundidade e 10 cm de distância da planta. Em seguida, esse sulco foi coberto com uma camada de solo e irrigado. Foi aplicada lâmina de água de 7,5 mm às 8:00 e 7,5 mm às 17:00, para minimizar a volatilização da ureia. Na área experimental foi instalado um sistema de irrigação por gotejamento, com irrigações suplementares quando necessário, conforme ilustração na Figura 3.

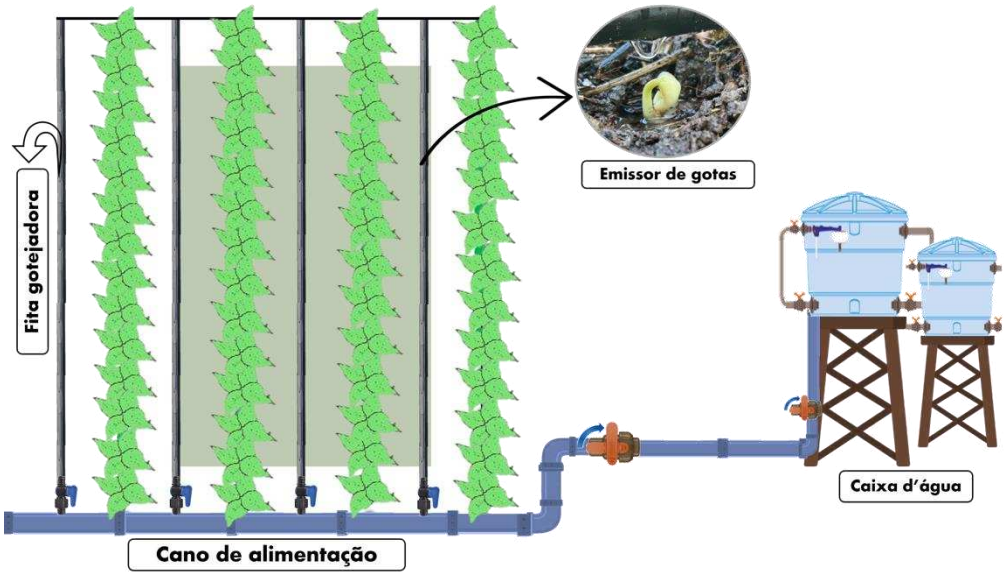

Figura 3. Esquema de irrigação por gotejamento utilizado na área experimental durante os dois ensaios, São Luís, MA, em 2022.

As plantas daninhas foram controladas com capinas manuais, de acordo com a necessidade. Não houve necessidade do controle integrado de pragas e doenças nos ensaios.

5.4 Características avaliadas:

Nos dois ensaios foram realizadas as seguintes avaliações:

a) Massa da parte aérea seca e das raízes secas – aos 35 DAE, na fase de início da floração, quatro plantas foram coletadas com auxílio de enxadão e, as raízes foram separadas da parte aérea e lavadas em água corrente. Em seguida, a parte aérea e as raízes foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C, até atingirem massa constante, para determinar a massa da parte aérea seca e a massa da raiz seca.

b) Massa total da planta seca - foi obtida pela soma da massa da parte aérea seca e a massa das raízes secas.

c) Relação entre a massa da raiz seca e massa da parte aérea seca – essa relação foi obtida pela divisão entre a massa das raízes secas e a massa da parte aérea seca.

d) Produtividade – Nos dois ensaios foram realizadas duas colheitas: no primeiro ensaio a primeira colheita foi realizada aos 60 DAE e a segunda aos 65 DAE; no segundo ensaio, a primeira colheita foi realizada aos 61 DAE e a segunda aos 64 DAE. As colheitas foram realizadas quando as vagens estavam maduras (ponto ideal de colheita que coincide com o de perda das folhas e mudança da cor das vagens de verde para o marrom). Em seguida, as vagens foram debulhadas e a massa de grãos foi pesada para obter a produtividade de grãos. A produtividade de grãos correspondeu à massa de grãos colhidas de todas as plantas na área útil de 3,6 m^2. A produtividade foi padronizada para 130 g kg^{-1} de água.

e) Teor de Zn nos grãos - os grãos colhidos foram acondicionados em sacos de papel e colocados em estufa de ventilação forçada de ar a 70 ºC, até atingirem massa constante. Em seguida, os grãos foram moídos em moinho tipo Willey com peneira de 20 mesh. Amostras de 0,5 g do material vegetal seco foram submetidas à digestão nitroperclórica. Em seguida, no extrato obtido foi quantificado o teor de Zn nos grãos por espectrometria de emissão óptica com plasma de argônio induzido (ICP-OES, modelo 9820, Shimadzu, Kyoto, Japão) (Malavolta et al., 1997).

5.5. Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos aos modelos lineares mistos com a função *lmer* no pacote *lme4* (Bates et al., 2015). Para todas as variáveis, os efeitos fixos foram

os tratamentos com Zn, cultivares e a interação entre esses fatores. Os efeitos aleatórios foram ensaios e blocos aninhados com ensaios. O valor de *P* dos efeitos fixos foram obtidos no pacote *lmerTest* (Kuznetsova et al., 2017). Avaliamos graficamente as suposições do modelo plotando os resíduos em relação aos valores ajustados da variável dependente. Quando o efeito da interação entre tratamentos envolvendo Zn e cultivares foi significativo ($P \leq 0,05$) para uma particular variável, as somas de quadrado dos tratamentos envolvendo Zn foram particionadas em três contrastes ortogonais (Tabela 2), com a função *emmeans* e contrastes no pacote *emmeans* (Lenth, 2021). Todas as análises foram feitas no software R versão 4.3.2 (R Core Team, 2023).

6 RESULTADOS

O efeito da interação entre os fatores cultivares de feijão-caupi e aplicação de Zn foi não significativo sobre a massa de parte aérea seca, massa de raiz seca, relação entre a massa de raiz seca e massa de parte aérea seca e o teor de Zn no grão (Tabela 3). O efeito da interação entre os fatores cultivares de feijão-caupi e aplicação de Zn foi significativo sobre a massa total de plantas seca e altamente significativo sobre a produtividade (Tabela 3).

Tabela 3. Valores de F e *P* para os efeitos fixos do modelo ajustado para massa da parte aérea, das raízes e total seca, relação entre a massa de raiz seca e a massa da parte aérea seca (Raiz/PA), produtividade e teor de Zn no grão de feijão-caupi, em São Luís, Maranhão.

Variáveis (y)	**Cultivares (A)**		**Zn (B)**		**A x B**	
	F	***P***	**F**	***P***	**F**	***P***
Massa da parte aérea seca (g)	14,23	<0,001	5,20	0,002	1,65	0,143
Massa de raiz seca (g)	29,66	<0,001	11,27	<0,001	1,99	0,076
Massa total da planta seca (g)	18,39	<0,001	6,98	<0,001	2,78	0,016
Relação Massa de raiz seca/Massa da parte aérea seca	10,04	<0,001	3,02	0,034	0,94	0,466
Produtividade (kg ha^{-1})	10,01	<0,001	5,76	0,001	4,03	0,001
Teor de Zn no grão (mg kg)	7,34	0,001	120,41	<0,001	0,82	0,551

Efeito fixo: y ~ cultivares, tratamentos com Zn e a interação entre esses fatores; efeitos aleatórios: ~ 1|ensaio + 1|ensaio:bloco

Os tratamentos envolvendo Zn aumentaram 19% a massa da parte aérea seca em relação ao tratamento sem Zn (controle *vs* ZnS, ZnF e ZnS+ZnF; *P*<0,001; Figura 4a). Os contrastes ZnS, ZnF *vs* ZnS+ZnF (C2) e ZnS *vs* ZnF (C3) foram não significativos sobre a massa da parte aérea seca (Figura 4a).

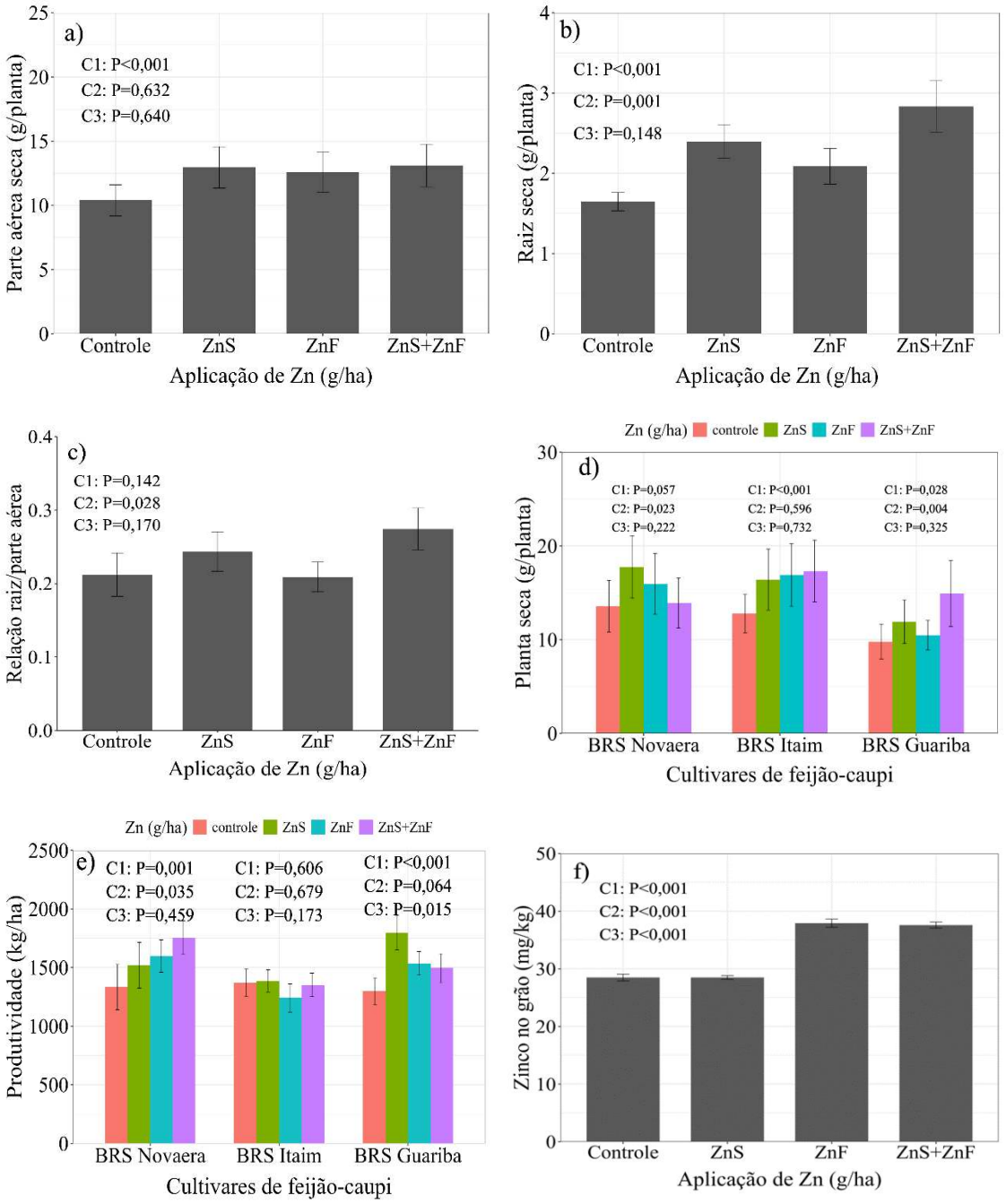

Figura 4. Efeitos da aplicação de Zn sobre a massa da parte aérea seca (a), massa de raiz seca (b), relação Raiz/PA (n=24) (c), efeitos da interação entre cultivares de feijão-caupi e aplicação de Zn sobre a massa total das plantas (c) e produtividade (n=8) (e), e efeitos da aplicação de Zn sobre o teor de Zn no grão (f) (n = 24), São Luís, Maranhão, Brasil. A barra de erro denota o erro padrão da média.

C1 = controle *vs* ZnS, ZnF e ZnS+ZnF.
C2 = ZnS, ZnF *vs* ZnS+ZnF.
C3 = ZnS *vs* ZnF.

Os tratamentos envolvendo Zn aumentaram 32% a massa de raiz seca em relação ao tratamento sem Zn (C1=controle *vs* ZnS, ZnF e ZnS+ZnF; $P<0,001$; Figura 4b). O tratamento ZnS+ZnF aumentou 21% a massa de raiz seca em relação aos tratamentos que receberam Zn no solo ou na folhagem (C2=ZnS, ZnF *vs* ZnS+ZnF; $P=0,001$; Figura 4b). O contraste ZnS *vs* ZnF (C3) foi não significativo sobre a massa da raiz seca (Figura 4b).

Os contrastes controle *vs* ZnS, ZnF e ZnS+ZnF (C1) e ZnS *vs* ZnF (C3) foi não significativo sobre a relação Raiz/PA (Figura 4c). O tratamento ZnS+ZnF aumentou 21% a Raiz/PA em relação aos tratamentos que receberam Zn no solo ou na folhagem (C2=ZnS, ZnF *vs* ZnS+ZnF; $P=0,028$; figura 4c).

Para o cultivar BRS Novaera, os contrastes C1 (controle *vs* ZnS, ZnF e ZnS+ZnF) e C3 (ZnS *vs* ZnF) foram não significativos sobre a massa total da planta seca. Os tratamentos ZnS e ZnF aumentaram 17% a massa total das plantas em relação ao ZnS+ZnF (C2=ZnS, ZnF *vs* ZnS+ZnF; $P=0,023$; Figura 4d). Para o cultivar BRS Itaim, os tratamentos envolvendo Zn aumentaram 24% a massa total das plantas em relação ao tratamento sem aplicação de Zn (C1=controle *vs* ZnS, ZnF e ZnS+ZnF; $P<0,001$; figura 4d). Os contrastes ZnS, ZnF *vs* ZnS+ZnF (C2) e ZnS *vs* ZnF (C3) foram não significativos sobre a massa total das plantas (Figura 4d). Para o cultivar BRS Guariba, os tratamentos envolvendo Zn aumentaram 21% a massa total das plantas em relação ao tratamento sem aplicação de Zn (C1=) controle *vs* ZnS, ZnF e ZnS+ZnF; $P=0,028$; figura 4d). O tratamento ZnS+ZnF aumentou 25% a massa total das plantas em relação ao tratamento ZnS e ZnF (C2=ZnS, ZnF *vs* ZnS+ZnF; $P=0,004$; Figura 4d). O contraste ZnS *vs* ZnF (C3) foi não significativo sobre a massa total de plantas (Figura 4d).

Para o cultivar BRS Novaera, a aplicação de Zn aumentou 18% a produtividade em relação ao controle (sem zinco) (C1=controle *vs* ZnS, ZnF e ZnS+ZnF; $P=0,001$; figura 4e). O tratamento ZnS+ZnF aumentou 12% a produtividade em relação aos tratamentos que receberam Zn no solo ou na folhagem (C2=ZnS, ZnF *vs* ZnS+ZnF; $P=0,035$; Figura 4e). O contraste ZnS vs ZnF (C3) foi não significativo sobre a produtividade (Figura 4e). Para o cultivar BRS Itaim, os três contrastes foram não significativos sobre a produtividade (Figura 4e). Para o cultivar BRS Guariba, os tratamentos envolvendo Zn aumentaram 19% a produtividade em relação ao tratamento sem Zn (C1=controle *vs* ZnS, ZnF e ZnS+ZnF; $P=0,001$; figura 4e). O contraste ZnS,

ZnF *vs* ZnS+ZnF foi não significativo sobre a produtividade (Figura 4e). O Zn aplicado no solo aumentou 17% a produtividade em relação ao Zn aplicado na folhagem (ZnS *vs* ZnF; P=0,015; Figura 4e).

Os tratamentos envolvendo Zn aumentaram 18% o teor de Zn no grão em relação ao tratamento sem Zn (controle *vs* ZnS, ZnF e ZnS+ZnF; P<0,001; Figura 4f). O tratamento ZnS+ZnF aumentou 12% o teor de Zn no grão em relação aos tratamentos que receberam Zn no solo ou na folhagem (ZnS, ZnF *vs* ZnS+ZnF; P<0,001; Figura 4f). O Zn aplicado na folhagem aumentou 25% o teor de Zn no grão em relação ao Zn aplicado no solo (ZnS *vs* ZnF; P<0,001; Figura 4f).

6 DISCUSSÃO

A nossa hipótese foi que o efeito combinado da aplicação de Zn no solo e na folhagem, na fase de início da floração, aumenta a produtividade e o teor de Zn nos grãos de cultivares de feijão-caupi. A hipótese foi confirmada para a produtividade de grãos, que aumenta com o fornecimento de ZnS ou ZnS+ZnF. Para o teor de Zn no grão, a hipótese confirma que o ZnS+ZnF ou ZnF aumenta o Zn nos grãos de feijão-caupi.

A aplicação de Zn no feijão-caupi aumentou a produtividade de grãos, parâmetros de crescimento das plantas (massa total da planta seca, massa de raiz seca, massa da parte aérea seca e a relação entre a massa das raízes seca e a massa da parte aérea seca (Raiz/PA), bem como o teor de Zn nos grãos. Entretanto, constatou-se que, o efeito do Zn sobre a produtividade e a massa total da planta foram influenciadas pelas cultivares e formas de aplicação de Zn.

O Zn influencia diretamente na produtividade das culturas devido a sua participação na síntese de auxinas, fotossíntese, formação de pigmentos, além da maior translocação de carboidratos para as sementes (Pandey et al., 2006; Cakmak 2018; Kumar; Dhaliwal, 2022). Além disso, a fertilização com Zn pode influenciar nas características de crescimento das plantas, devido ao papel do micronutriente na síntese de auxina, no metabolismo do N, na síntese de clorofila e no desenvolvimento de Ácido indolacético (AIA), que aumenta a divisão celular, na altura da planta e no número de folhas da planta (Cakmak, 2008; Haider et al., 2018). De acordo com Kumar e Dhaliwal (2022), a influência do Zn sobre o rendimento e os parâmetros de crescimento das plantas de feijão-caupi pode variar com a forma de aplicação desse micronutriente na folha, no solo ou de forma combinada (ZnF + ZnS). De fato, nesse estudo o aumento na

produtividade de grãos e na massa total das plantas variou com a forma de aplicação de Zn, entretanto, além das formas de aplicação, o efeito do Zn sobre esses atributos variou com o cultivar de feijão-caupi estudada.

No cultivar Novaera, o ZnS+ZnF incrementou substancialmente a produtividade de grãos. Essa resposta pode ser devido à maior disponibilidade de Zn para a cultura, pois quando aplicado dessa forma, o Zn é disponibilizado para as plantas em todos os estágios de crescimento, especialmente durante o estágio reprodutivo. Nesse sentido, o Zn desempenha papel importante na formação dos grãos de leguminosas (Hidoto et al., 2017; Kumar; Dhaliwal, 2022). Para o mesmo cultivar, o ZnS aumentou consideravelmente a massa total da planta. De fato, quando o Zn é aplicado no solo, a disponibilidade do micronutriente aumenta, e consequentemente há incremento nos parâmetros de crescimento das plantas como altura, número de folha e espessura do caule (Kumar; Dhaliwal, 2022).

Observou-se que, a produtividade e o crescimento das plantas responderam de forma diferenciada os tratamentos envolvendo Zn. Essa resposta pode ser devido a variação entre cultivares na resposta ao Zn, ou seja, nos diferentes mecanismos envolvidos na absorção e uso de Zn, que são particulares em cada cultivar ou espécie (Hao et al., 2021; Moreira, Moraes; Reis, 2018). De fato, em contraste ao observado no cultivar BRS Novaera, para o BRS Guariba a aplicação de ZnS+ZnF incrementou a massa total das plantas, enquanto a aplicação do ZnS aumentou a produtividade dos grãos. De acordo com Melo et al. (2017) o cultivar BRS Guariba é altamente responsiva a aplicação de Zn no solo, e pode atingir uma produtividade média de 1.425 kg ha^{-1} quando aplicado 3,0 kg ha^{-1} de Zn. Nesse estudo, o mesmo cultivar atingiu produtividade média de 1.797 kg ha^{-1} com a aplicação de 5,0 kg ha^{-1} de Zn no solo, o que reflete no ganho de 1.309 kg ha^{-1} superior à média nacional de 466 kg ha^{-1} (Conab, 2023).

De acordo com Moreira et al. (2018), cultivares ineficientes no uso de Zn são caracterizadas como capazes de absorver o nutriente, mas não de convertê-lo em produtividade. Vários estudos têm evidenciado o comportamento diferencial entre espécies, variedades e/ou cultivares de uma mesma espécie na absorção e utilização de nutrientes, especialmente Zn (Clark, 1978; Fageria et al., 2008; Fageria; Moreira, 2015). No nosso estudo, as formas de aplicação de Zn incrementaram a massa total das plantas, mas não a produtividade de BRS Itaim. Portanto, é razoável supor que BRS Itaim é um cultivar de feijão-caupi ineficiente na absorção e uso de Zn.

A aplicação de Zn no feijão-caupi aumentou o teor de Zn no grão de 28,5 mg kg^{-1} (controle) para o máximo de 37,9 mg kg^{-1} (ZnS+ZnF), o que reflete em aumento de 18% em relação ao controle. Esse valor foi inferior ao encontrado em feijão-caupi biofortificado geneticamente, que possuem teores de Zn no grão em torno de 45 - 50 mg kg^{-1}(Rocha et al., 2014). Entretanto, são similares ao de cultivares de feijão caupi que foram biofortificadas em campo com teores de Zn que variam de 33 – 45 mg kg^{-1} (Melo et al., 2017; Coelho et. 2021; Kumar; Dhaliwal, 2022). Essas diferenças no teor de Zn nos grãos são comuns, visto que na biofortificação agronômica o nutriente aplicado pode ser particionado a tecidos e outras partes da planta, enquanto na genética as seleções são direcionadas ao enriquecimento do órgão de interesse (Garg et al., 2018; Pessoa et. 2019).

Aplicações exógenas de Zn podem contribuir com o enriquecimento de grãos no feijão-caupi (Melo et al., 2017). Diferentes fatores como a dose certa de fertilizante, estádio de crescimento das plantas, e os métodos de aplicação, foliar, solo, ou forma combinada (foliar + solo), podem interferir no acúmulo de Zn nos grãos do feijão-caupi (Kumar; Dhaliwal, 2022). No nosso trabalho, a aplicação de Zn na folhagem e combinado (solo + folhagem) registrou maior teor de Zn em grãos do que a aplicação de Zn no solo. Esse resultado pode ser devido à fácil penetração do íon Zn através das folhas, seja por transporte ou via estomática, assim a pulverização na folhagem no estágio final de crescimento, mantém um pool suficiente de Zn fisiologicamente disponível nos tecidos da planta para retranslocação aos grãos após a floração (Gupta et al., 2016; Dhaliwal et al., 2020). Nos estudos de Kumar e Dhaliwal (2022) as formas de aplicação do Zn na folhagem e combinada (solo + folhagem) também foram as mais eficazes para acumular Zn nos grãos de feijão-caupi.

A aplicação de Zn incrementou os parâmetros de crescimento, como massa de raiz seca, massa da parte aérea seca e da relação Raiz/PA. Esses resultados podem ter relação com os efeitos benéficos do Zn no metabolismo de carboidratos e N em leguminosas, o que aumenta a fotossíntese, e a atividade da aldolase que, por sua vez, promove a conversão da frutose 1-6-difosfato em seus compostos subsequentes, com consequências positivas no crescimento e desenvolvimento das plantas (Pandey et al., 2013). A forma de aplicação combinada do Zn (solo + folhagem) foi a que mais incrementou a massa da parte aérea seca e a R/PA no feijão-caupi, possivelmente devido à maior disponibilidade do micronutriente às plantas. De acordo com Kumar e Dhaliwal (2022), na aplicação combinada (solo + folhagem) o Zn fica disponível em maior quantidade e por mais tempo

às plantas, assim esse micronutriente pode ser particionado para o crescimento dos órgãos vegetais sem comprometer o rendimento dos grãos.

7 CONCLUSÃO

Nossos resultados sugerem que a aplicação de 5 kg ha^{-1} de Zn no solo no momento do plantio somados a aplicação de 4 kg ha^{-1} na folhagem, no início da floração, aumenta a produtividade e o teor de Zn nos grãos de feijão-caupi. Nossos resultados também sugerem que os agricultores podem utilizar os cultivares de feijão-caupi BRS Novaera e BRS Guariba com a aplicação de Zn no solo + Zn na folhagem para aumentar a produtividade. Ademais, independente do cultivar, a aplicação de Zn na folhagem aumenta o teor de Zn no grão de feijão-caupi. No entanto, novos estudos devem ser realizados para compreender o comportamento dos cultivares avaliadas e dos métodos de aplicação de Zn em outras condições de cultivo.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. C. F.; BICUDO, S. J.; COSTA SOBRINHO, J. R. S.; MARTINS, A. L. S.; COELHO, K. P.; MOURA, E. G. Nutrient recycling and physical indicators of an alley cropping system in a sandy loam soil in the Pré-Amazon region of Brazil. Nutrient Cycling Agroecosystems, v. 86, p. 189-198. 2010.

BOUIS, H. E., SALTZMAN, A. Improving nutrition through biofortification: A review of evidence from HarvestPlus, 2003 through 2016. **Global Food Security**, 12, 49–58, 2017.

CLARK, R.B., 1978. Differential response of maize inbreds to Zn. Agron. J. 70, 1057–1060.

CAKMAK, I; KUTMAN, U. B. Agronomic biofortification of cereals with zinc: a review. **European Journal of Soil Science**, 69, 172–18, 2018.

CAMBRAIA, T. L.; VERGUTZ, L.; FONTES, R. L. F.; VIEIRA, R. F.; NEVES, J. C. L.; NETTO, P. S. C.; DIAS, R. F. N. Agronomic biofortification of common bean grain with zinc. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.54, e01003, 2019.

COELHO, R. C., BARSOTTI, R. C. F., MALTEZ, H. F., JÚNIOR, C. A. L., & DE SOUSA BARBOSA, H. Expanding information on the bioaccessibility and bioavailability of iron and zinc in biofortified cowpea seeds. Food Chemistry, v. 347, p. 129027, 2021.

CONAB. **Acom–anhame–to da safra brasileira de grãos,** v. 6 - SAFRA 2018/19 - n. 8 - Oitavo levantamento. Dezembro, 2023.

DHALIWAL SS, SANDHU AS, SHUKLA AK, SHARMA V, KUMAR B, SINGH R. 2020. Bio-fortification of oats fodder through zinc enrichment to reduce animal malnutrition. J Agril Sci Tech A. 10:98–108.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. Dados conjunturais da produção de ferjão comum (Phaseolus vulgaris L.e caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp) no Brasil (1985 a 2019): área, produção e rendimento [online]. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2020. Disponível em: http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm. Acesso em: 05 abr. 2021 EMBRAPA MEIO-NORTE. Cultivo de feijão-caupi. Jul/2003. Disponível em: <http://www.cpamn.embrapa.br/pesquisa/graos/FeijaoCaupi/referencias.htm>. Acesso em: 18 out. 2023.

FAGERIA, N.K., BARBOSA FILHO, M.P., SANTOS, A.B. Growth and zinc uptake and use efficiency in food crops. Commun. **Soil Sci. Plant Anal**. 39, 2258–2269, 2008.

FAGERIA, N.K., MOREIRA, A., Zinc-use efficiency in upland rice genotypes. Commun. Soil Sci. **Plant Anal**. 46, 94–108, 2015.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. State of Food and Agriculture 2015: investi–g in agriculture for a better future. Rome, Italy, 2015.

FREIRE FILHO, F. R. et al. BRS Novaera: cultivar de feijão-caupi de porte semiereto. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2008. 4 p. (Comunicado Técnico, 215).

FREIRE FILHO, F. R., ROCHA, M. D. M., RIBEIRO, V. Q., SILVA, K., LOPES, A., CRAVO, M. S., & CARVALHO, J. BRS Itaim: cultivar de feijão-caupi com grãos do tipo fradinho. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2., 2009, Belém, PA. Da agricultura de subsistência ao agronegócio: anais. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. p. 344-348, 2009.

FREIRE-FILHO, F. Ret al. Produção, melhoramento genético e potencialidades do feijão-caupi no Brasil. Teresina: **Embrapa Meio-Norte**, 2011. 84 p.

FROTA, K. M. G.; SOARES, R. A. M.; ARÊAS, J. A. G. Composição química do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), cultivar BRS-Milênio. Ciência e Tecnologia de Alimentos, v. 28, n. 2, p. 470-476, 2008.

FROTA. K. M. G.; SOARES. R. A. M.; ARÊAS. J. A G. Composição química do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio. **Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas**, 28(2): 470-476, 2018.

GARG, M.; SHARMA, N.; SHARMA, S.; KAPOOR, P.; KUMAR, A.; CHUNDURI, V.; ARORA, P. Biofortified Crops Generated by Breeding, Agronomy, and Transgenic Approach–s Are Improving Lives of Millions of People around the World - Review article. **Frontiers in nutrition**, v.5, article 12, 2018.

GECCON, G.; MATOSO, A. O. Feijão-caupi é pesquisado no centro oeste. Jornal agrosoft Brasil, [S.l.], 2011. Disponível em: <http://www.agrosoft.org.br/agropag/216241.htm> Acesso em: 19 outubro 2020.

GOMEZ-CORONADO, F. G.; POBLACIONES, M. J.; ALMEIDA, A. S.; CAKMAK, I. Zinc (Zn) concentration of bread wheat grown under Mediterranean conditions as affected by genotype and soil/foliar Zn application. **Plant Soil**. 401(1-2), 331–346, 2015.

GOMEZ-CORONADO, F. G.; POBLACIONES, M. J.; ALMEIDA, A. S.; CAKMAK, I. Zinc (Zn) concentration of bread wheat grown under Mediterranean conditions as affected by genotype and soil/foliar Zn application. **Plant Soil**. 401(1-2), 331–346, 2015.

GONÇALVES, J. R. P. BRS Novaera: cultivar de feijão-caupi para cultivo em várzeas do Amazonas. 2012.

GRACIANO, P. D. Biofortificação agronômica com zinco em cultivares de alface crespa. 2019. 36f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

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**, 92:1-74, 2017.

GUIRRA, K. S.; SILVA, J. E. S. B.; DANTAS, B.F.; ARAGÃO, C.A. Germinação de sementes de tomateiro tratadas com fontes de ferro e zinco para biofortificação agronômica. **Scientia Plena**. v.11, num. 10, 2015.

GUIRRA, K. S.; SILVA, J. E. S. B.; DANTAS, B.F.; ARAGÃO, C.A. Germinação de sementes de tomateiro tratadas com fontes de ferro e zinco para biofortificação agronômica. **Scientia Plena**. v.11, num. 10, 2015.

GUO., J. X.; FENG X. M.; HU, X. Y.; TIAN G. L.; LING, N. L; WANG, J. H.; SHEN, Q. R.; GUO, S. W. Effects of soil zinc availability, nitrogen fertilizer rate and zinc fertilizer application method on zinc biofortification of rice. **Crops and soils research paper**. 154, 584–597, 2015.

GUPTA, N.; RAM, H.; KUMAR, B. Mechanism of Zinc absorption in plants: uptake, transport, translocation and accumulation. **Rev Environ Sci Biotech**. 15(1):89–109, 2016.

HAN, X. et al. Zinc fractions and availability to soybeans in represent soils of Northeast China. **Journal of Soils and Sediments**, Brisbane, v.11, n.1, p.596-606, Oct., 2011.

HAIDER MU, HUSSAIN M, FAROOQ M, NAWAZ A. Soil application of zinc improves the growth, yield and grain zinc biofortification of mungbean. **Soil Environ.** 37(2), 123–128, 2018.

HAO, B.; MA, J.; JIANG, L.; WANG, X.; BAI, Y.; ZHOU, C.; WANG, Z. Effects of foliar application of micronutrients on concentration and bioavailability of zinc and iron in wheat landraces and cultivars. Scientific Reports, 11(1), 22782, 2021.

HIDOTO, L., TAR'AN, B., WORKU, W.; MOHAMMED, H. Rumo à biofortificação com zinco no grão de bico: desempenho de cultivares de grão de bico em resposta à aplicação de zinco no solo. Agronomia , 2017.

INTERNATIONAL ZINC NUTRITION CONSULTATIVE GROUP (IZiNCG) Technical document #1. Assessment of the risk of zinc deficiency in populations and options for its control. The United Nations University. **Food and Nutrition Bulletin**. v. 25(1). p. 94-203, 2014.

JOY, E.J.M.; STEIN, A.J.; YOUNG, S.D.; ANDER, E.L.; WATTS, M.J.; ROADLEY, M.R. Zinc-enriched fertilisers as a potential public health intervention in Africa. Plant and Soil, v.389, p.1-24, 2015.

KUTMAN, U. B. et al. Biofortification of durum wheat with through soil and foliar applications of Nitrogen. **Cereal Chemestry**, Saint Paul, v. 87, n. 1, p 1- 9, 2011.

KUMAR, BALWINDER; DHALIWAL, SALWINDER SINGH. Zinc biofortification of dual-purpose cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] for enhancing the productivity and nutritional quality in a semi-arid regions of India. Archives of Agronomy and Soil Science, v. 68, n. 8, p. 1034-1048, 2022.

MANZEKE, M. G.; MTAMBANENGWE, F.; WATTS, M. J.; BROADLEY, M. R.; R. MURRAY, L.; MAPFUMO, P. Nitrogen effect on zinc biofortification of maize and cowpea in Zimbabwean smallholder farms. **Agronomy Journal**, v. 112, n. 3, p. 2256-2274, 2020.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: **Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato,** p.319, 1997.

MARTINEZ, H.E.P., ZABINI, A.V., FRANCO, I.A.L., NOVAIS, R.F., 2005. Translocation and compartmentation of Zn doses applied to rizóbio seean and coffee seedlings. Ci. Rural 35, 491–497 (in portuguese).

ROCHA, M. D. M., ALMEIDA, M. D. O., SILVA, K., & das NEVES, A. C. (2014). Biofortificação [do] feijão-caupi.

MELO, F. D. B., CARDOSO, M. J., ANDRADE, A. S. D., & RIBEIRO, V. Q. Zinc fertilization in cowpea cultivars1. **Revista Ciência Agronômica**, v. 48, p. 739-744, 2017.

MELO, A.S.; SILVA, A.R.F.; DUTRA, A.F.; DUTRA, W.F.; BRITO, M.E.B.; SÁ, F.V.S. Photosynthetic effi- ciency and production of cowpea cultivars under deficit irrigation. **Revista Ambiente & Água**, v.13, n.5, p.2133, 2018. doi: https://doi.org/10.4136/ ambi-agua.2133.

MORAES, J. G. L. Comportamento de genótipos de feijão-de-corda sob infestação de pragas. 2007. 52 f. Dissertação (Mestrado do Curso de Agronomia-Fitotecnia). Universidade Federal do Ceará. 2007.

MOREIRA, J. C. Acúmulo de matéria seca e nutrientes na cultura do milho verde. 2015. 56f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2015.

MOREIRA, Adônis; MORAES, Larissa AC; DOS REIS, André R. The molecular genetics of zinc uptake and utilization efficiency in crop plants. **Plant micronutrient use efficiency**, p. 87-108, 2018.

NASCIMENTO, L. R. S.; SOUSA, C. A.; SANTOS, C. E. R. S.; FREITAS, A. D. S.; VIEIRA43izóbioM. B.; SAMPAIO, E. V. S. B. Eficiência de isolados de rizóbios nativos do agreste paraibano em caupi. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.

5, n. 1, p. 36-42, 2010.
NATIONAL RESEARCH COUNCIL RECOMMENDED DIETARY ALLOWANCES. Reference intakes for vitamin A, vitamin K, as, B, Cr, Cu, I, Fe, Mn, Mo, Ni, Si and Zn (pp. 37– 46). Washington D.C., New York: Institute of Medicine/Food and Nutrition Board. **National Academy Press**, 2001.
OLIVEIRA V. C.; FAQUIN, V.; RIBEIRO, F.; ANDRADE; CARNEIRO, J. P.; JÚNIOR, E. C. S.; 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.62, pp 315–331, 2019.
OLIVEIRA, D.P. Adubação nitrogenada, inoculação com estirpes de rizóbios e tratamentos fungicidas de sementes em feijoeirocomum cv. BR SMG Madrepérola. 180f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2013.
OLIVEIRA, G. A et al. Resposta do feijão-caupi às lâminas de precisão e às doses de fósforo no cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agronômica**, v. 4, pág. 872-882, 2011.
PESSOA, Cláudia Campos. **Biofortificação de pera Rocha em cálcio: itinerário técnico para a produção e caracterização química**. 2019. Tese de Doutorado.
PANDEY, N., PATHAK, G. C., & SHARMA, C. P. Zinc is critically required for pollen function and fertilization in lentil. **Journal of Trace Element and Medical Biology**, v. 20, p. 80–96, 2006.
PANDEY. N.; GUPTA B.; PATHAK G.C. Foliar application of Zn at flowering stage improves plant's performance, yield and yield attributes of black gram. **Indian J Exp Biol.** 51(7):548–555, 2013.
PHATTARAKUL, N.; RERKASEM, B.; LI, L. J.; WU, L. H.; ZOU, C. Q. H. RAM.; SOHU, V. S.; KANG, B. S.; SUREK, H.; KALAYCI, M.; YAZICI, A.; ZHANG, F. S.; CAKMAK, I. Biofortification of rice grain with zinc through zinc fertilization in different countries. **Plant Soil**. v.361, 1–2, pp 131–141, 2012.
R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL https://www.Rproject.org/.
RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas Instituto Agronômico, 285p. 2001.
RAM, H.; RASHID, A.; ZHANG, W.; DUARTE, A.P.; PHATTARAKUL, N.; SIMUNJI, S.; KALAYCI, M.; FREITAS, R.; RERKASEM, B.; BAL, R.S.; MAHMOOD, K.; SAVASLI, E.; LUNGU, O.; WANG, Z.H.; BARROS, V.L.N.P. de; MALIK, S.S.; ARISOY, R.Z.; GUO, J.X.; SOHU, V.S.; ZOU, C.Q.; CAKMAK, I. Biofortification of wheat, rice and common bean by applying foliar zinc fertilizer along with pesticides in seven countries. **Plant and Soil**, v.403, p.389-401, 2016.

RASHID, A.; RAM, H.; ZOU, C. O.; RERKASEM, B.; DUARTE, A. P.; SIMUN, S.; YAZICI, A.; GUO, S.; RIZWAN, M.; BAL, R. S.; WANG, Z.; MALIK, S. S.; PHATTARAKUL, N.; FREITAS, R. S.; LUNGU, O.; BARROS, V. L. N.; CAKMAK, I. Effect of zinc-biofortified seeds on grain yield of wheat, rice, and common bean grown in six countries. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**. 182, 791–804, 2019.
REHMAN HM, COOPER JW, LAM H, YANG SH. Legume biofortification is an underexploited strategy for combating hidden hunger. **Plant Cell Environ**. 42(1):52–70. doi:10.1111/pce.13368, 2018.

ROCHA, M. D. M., ALMEIDA, M. D. O., SILVA, K., das NEVES, A. C. (2014). Biofortificação [do] feijão-caupi. http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1031579.

SILVA JUNIOR, J. F.; LOPES, M. C.; CARDOSO, S. S. Características biométricas em cultivares de feijão-caupi. **Holos Environment**, Rio Claro, SP, v. 15, n. 1, 2015.

SILVA, P. H. S. CARNEIRO, J. S. Pragas do feijão-caupi e seu controle. In: CARDOSO, M. J. A cultura do feijão-caupi no Meio-Norte do Brasil. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000. p. 264. (Embrapa Meio-Norte. Circular técnica, 28).

SILVEIRA, P. M.; DYNIA, J. F.; ZIMMERMANN, F. J. P. Resposta do feijoeiro irrigado a boro, zinco e molibdênio. Ciência e Agrotecnologia, v. 20, n. 2, p. 198-204, 1996.

SIVASANKAR, S.; BERGVINSON, D.; GAUR, P.; KUMAR, S.; BEEBE, S. E.; TAMÒ, M. (Ed). Achieving sustainable cultivation of grain legumes Volume 2: Improving cultivation of particular grain legumes, 398 p. (Burleigh Dodds Series in Agricultural Science), 2018.

SNA. SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA: Produção e consumo nacional de feijão continuam os mesmos há mais de 10 anos. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: http://sna.agr.br/producao-e-consumo-nacional-de-feijao-continuam-os-mesmos-ha mais-de-10-anos/. Acesso em: 02 de Outubro. 2020.

STEINER, F. et al. Zinco e nitrogênio no desempenho agronômico do milho safrinha. Gl. Sci. Technol., v.4, n. 2, p. 09-17, 2011.

STEINER, F. et al. Zinco e nitrogênio no desempenho agronômico do milho safrinha. Gl. Sci. Technol., v.4, n. 2, p. 09-17, 2011.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A. Análises de solos, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 215p. (Boletim Técnico de Solos, 5), 1995.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A. Análises de solos, plantas e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 215p. (Boletim Técnico de Solos, 5), 1995.

VALE, J.C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. **Feijão-caupi do plantio à colheita.** Viçosa: Ed.UFV, 2017.

VALLADARES, G. S. et al. Zinco total e disponível em amostras de perfis de solos do estado de São Paulo. **Bragantia**, v.68, n.4, p.1105-1114, 2009.

VAN GINKEL, Maarten; CHERFAS, Jeremy. What is wrong with biofortification. Global Food Security, v. 37, p. 100689, 2023.

VILARINHO, A. A., ROCHA, M. D. M., FREIRE FILHO, F. R., & COELHO, G. BRS ITAIM: Cultivar de Feijão-caupi com Grãos Tipo Fradinho, 2010.

WELCH, R.M. Importance of seed mineral nutrient reserves in crop growth and development. In: Rengel Z (ed) Mineral nutrition of crops: Fundamental mechanisms and implications. **Food Products Press**, New York, 205-226p, 2016.

WHITE, P.J.; BROADLEY, M.R. Physiological limits to zinc biofortification of edible crops. **Frontiers in Plant Science**, v.2, art.80, 2011.

Efeitos do zinco na incidência de danos nos grãos de cultivares de feijão-caupi causados por percevejos (Hemiptera: Pentatomidae Coreidae)

CAPÍTULO III

RESUMO

Dentre as pragas-chave do feijão-caupi, os percevejos se destacam pelo seu grande potencial em causar danos (Hemiptera: Pentatomidae Coreidae). A disponibilidade de Zn para as plantas afeta o comportamento dos insetos e auxilia na defesa contra pragas e patógenos. O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos do Zn aplicado na folhagem na incidência de danos causados por percevejos nos grãos dos cultivares de feijão-caupi. Foram realizados dois ensaios em campo, em 2022. O ensaio foi conduzido no esquema fatorial 3 x 2: cultivares de feijão-caupi (BRS Novaera, BRS Itaim e BRS Guariba) e níveis de Zn (sem e com). Foram aplicados 4 kg ha^{-1} de Zn na folhagem, no início da floração. O delineamento foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Durante sete semanas foram contabilizados 126 percevejos. O Zn aplicado na folhagem reduziu 25,8% e 39,6% a incidência dos danos causados pelos percevejos nos grãos dos cultivares BRS Itaim e BRS Novaera, respectivamente. Sem Zn, a média da incidência de danos nos grãos no BRS Guariba foi 50,5% e 36,6% menor que a média da incidência de danos nos grãos dos cultivares BRS Itaim e BRS Novaera, respectivamente. Com Zn, a média da incidência de danos nos grãos no BRS Guariba foi 34,2% menor que a média da infestação de danos nos grãos no BRS Itaim, e não diferiu do BRS Novaera. O cultivar BRS Guariba pode ser considerado mais resistente aos danos ocasionados por percevejos, devido a maior espessura da casca da vagem. O Zn aplicado na folhagem reduz a incidência dos danos nos grãos de cultivares de feijão-caupi causados por percevejos.

Palavras-chave: resistência da planta hospedeira, tolerância, *Vigna unguiculata.*

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), que tem origem na África, é importante leguminosa de grãos nas regiões tropicais e subtropicais (Kebede; Bekeko, 2020). É considerada uma das principais fontes alimentícias de vários países, com destaque para o Brasil (Devi et al., 2015). Para essas regiões, a sua importância é dada pelo alto valor nutritivo, alto teor de proteína da semente (23% a 32%), por ser rica em lisina e triptofano, e ter quantidade substancial de ácido fólico e vitamina B (Tan et al., 2012; Togola et al., 2017).

O feijão-caupi é atacado por insetos-pragas, incluindo os percevejos (Hemiptera), que podem causar sérios danos às plantas e também a outras leguminosas de importância econômica, como a soja (*Glycine max* L.), ervilha (*Pisum sativum* L.) e alfafa (*Mendicago sativa* L.) (Correia-Ferreira; Panizzi, 1999; Panizzi et al. 2012). Dentre as principais espécies de percevejos, incluem-se o percevejo-vermelho-do-caupi: *Crinocerus sanctus* (Fabricius,1775) (Hemiptera: Coreidae), percevejo-pequeno-da-soja: *Piezodorus guildinii* Westwood (Hemiptera: Pentatomidae) e o percevejo-verde-da-soja: *Nezara viridula* Linnaeus, 1758 (Hemipera: Pentatomidae) (Ribeiro, 2002). Durante o processo de alimentação dos percevejos, estes inserem seus estiletes através da parede da casca da vagem, injetam secreções salivares nas sementes para succionar a seiva, deixando-as chochas, mais escuras e/ou menores (Maziero et al. 2009). Ataques de percevejos na cultura do feijão-caupi podem causar perdas significativas na colheita (até 50%) (Silva; Sobrinho, 2017).

Para percevejos, a resistência aos inseticidas é um problema recorrente, pois esses insetos podem desenvolver mecanismos fisiológicos e bioquímicos de desintoxicação de moléculas químicas ao longo do tempo (Temple et al., 2009; Baur et al., 2010; Sosa-Goméz; Silva, 2010). Quando esses insetos entram em contato com o inseticida podem desenvolver resistência por modificar a cutícula ou nos revestimentos do trato digestivo que impedem ou reduzem a taxa de penetração das moléculas químicas (Scoot, 1991; Bueno et al., 2011; Guedes, 2017). Essas modificações resultam na seleção de populações resistentes, com consequências no aumento da frequência de aplicações de inseticidas e no uso de produtos de amplo espectro pelos produtores (Temple et al., 2009; Baur et al., 2010; Sosa-Goméz; Silva, 2010). Portanto, novas abordagens para o manejo dos percevejos merecem investigação, como o uso de plantas com características morfológicas mais resistentes e a nutrição dessas plantas com zinco (Zn).

A resistência da planta é uma ferramenta importante para manejar insetos-pragas em culturas agrícolas, devido ao seu baixo custo, persistência, ausência de resíduos tóxicos e compatibilidade com outros métodos de controle (Smith e Clement, 2012, Boiça Júnior et al., 2013). Uma planta resistente a insetos possui atributos químicos, físicos e morfológicos geneticamente herdáveis, que fazem com que uma cultivar ou espécie seja menos danificada, que uma outra planta suscetível, não possuidora de tais atributos (Smith, 2005). A resistência da planta pode ser expressa de três maneiras: antibiose (a planta é deletéria para o inseto), antixenose (um fator bioquímico, físico ou biológico da planta impede a colonização, oviposição e alimentação da praga) e tolerância (capacidade de resistir ou se recuperar do ataque de pragas enquanto permanecem produtivas) (Painter, 1951; Akbar et al., 2013). No feijão-caupi, a resistência contra os percevejos pode variar com o cultivar, e as causas da resistência podem ter relação com características morfológicas das vagens e dos grãos (Jackai et al., 2001; Singh et al., 2002; Togola et al., 2017). Dentre os fatores morfológicos, a espessura da casca da vagem é um fator que interfere na escolha dos percevejos durante o processo de seleção de plantas leguminosas hospedeiras e influenciam na resistência (Baldin et al., 2012).

Além dos fatores morfológicos, aplicações foliares de micronutrientes podem auxiliar na resistência das plantas hospedeiras contra os insetos-praga. O Zn é um micronutriente essencial para todos os organismos vivos com um papel fundamental no crescimento, desenvolvimento e defesa da planta (Cabot et al., 2019). Estudos relataram aumento da resistência de plantas a pragas após concentrações suplementares de Zn, ou quando uma mistura de micronutrientes incluindo Zn foi aplicada (Graham; Webb, 1991; Dordas, 2008; Chavez-Dulanto et al., 2018). Tal resistência da planta hospedeira pode ocorrer, pois o Zn é um micronutriente que pode causar toxicidade para muitas espécies de insetos-praga e o seu acúmulo no tecido vegetal pode repelir e reduzir os danos ocasionados por esses organismos (Cabot et al., 2019). Estes autores mostraram o papel do Zn na defesa da planta contra patógenos, porém não foram encontrados estudos sobre o efeito do Zn aplicado na folhagem sobre os danos causados por percevejos nos grãos de cultivares de feijão-caupi.

No entanto, o presente estudo levanta a hipótese de que a aplicação de Zn na folhagem reduz os danos nos grãos de cultivares de feijão-caupi. Este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos do Zn aplicado na folhagem sobre os danos causados por percevejos nos grãos das cultivares de feijão-caupi.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Localização dos ensaios, condições climáticas e características do solo

Foram conduzidos dois ensaios em campo: Ensaio 1, de 01 junho a 06 de agosto de 2022 (período chuvoso) e Ensaio 2 de 11 de outubro a 15 dezembro de 2022 (período de estiagem). Os ensaios em campo foram conduzidos na área experimental da Universidade Estadual do Maranhão, São Luís - MA (2º 30' S e 44º 18' W, altitude de 24 m). No segundo ensaio a população de percevejos era mínima, portanto, não houve danos significativos para cultura. O clima da região na classificação de Köppen é do tipo AW', equatorial quente e úmido, com duas estações bem definidas: uma chuvosa, que se estende de janeiro a junho, e outra de estiagem, com déficit hídrico acentuado de julho a dezembro. Em 2022, precipitação acumulada foi de 2.452,2 mm, das quais mais de 80% ocorreram de janeiro a junho. A precipitação acumulada durante a condução do ensaio foi 375,6 mm e a média da temperatura máxima foi 31,3 ºC e a mínima, 24,7 ºC (Tabela 1).

Tabela 1. Precipitação acumulada e a média da temperatura máxima e mínima durante a condução do ensaio de campo no período chuvoso, São Luís, Maranhão, Brasil, 2022.

Meses	Precipitação acumulada (mm)	Temperatura (ºC)	
		Máxima	Mínima
Junho	147,4[a]	32,0	24,1
Julho	114,8[b]	31,8	24,3
Agosto	113,4[c]	31,1	25,2

[a]50,8 mm foi reportado em 20 de junho.
[b]40,6 mm foi reportado em 26 de julho.
[c]53,6 mm foi reportado em 25 de agosto.

O ensaio foi conduzido no esquema fatorial 3 x 2: cultivares de feijão-caupi (BRS Novaera, BRS Itaim e BRS Guariba) e níveis de Zn (sem e com). O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições.

Os cultivares comerciais de feijão-caupi foram obtidas do banco de sementes da Embrapa Meio Norte, Teresina – PI, Brasil. Todos os cultivares pertencem ao grupo de maturação precoce, possuem alta resistência ao acamamento e boa desfolha natural. As principais características de cada cultivar estão descritas na Tabela 2. Conforme Freire

Filho (2004, 2008, 2009), essas características foram obtidas em ensaios conduzidos no Piauí, em sistema de sequeiro.

Tabela 2. Características dos cultivares estudados nos ensaios.

Características	**BRS Itaim**[a]	**BRS Novaera**[b]	**BRS Guariba**[c]
Grupo de maturação	Semiprecoce	Semiprecoce	Semiprecoce
Subclasse comercial	Branca	Brancão	Branca
Porte	Ereto	Semiereto	Semiereto
Produtividade (kg ha^{-1})	1.618	1.074	1.508
Cor da vagem	Amarelo-claro	Amarelo-claro	Roxa

[a] = Freire Filho et al. (2009).
[b] = Freire Filho et al. (2008).
[c] = Freire Filho et al. (2004).

Na área experimental, a vegetação predominante foi cortada por meio de uma roçadeira manual anteriormente ao plantio e deixada sobre o solo. O solo não recebeu nenhum preparo mecanizado para a semeadura, conforme é feito pelos agricultores da região. As plantas daninhas foram controladas com capinas manuais, quando necessária.

As parcelas experimentais constaram de quatro fileiras de 4,0 m de comprimento, espaçadas de 0,6 m. A área útil da parcela foi de 3,6 m^2. Foram semeadas 12 sementes por metro de sulco. As duas linhas externas e 0,5 m de cada extremidade das fileiras centrais serviram como bordadura.

A dose de 4 kg ha^{-1} de Zn foi aplicada na folhagem, no início da floração (≈ 30 DAE). A fonte de Zn foi o sulfato de zinco ($ZnSO_4.7H_2O$). A solução de Zn aplicada na folhagem foi realizada com pulverizador manual com bico do tipo leque (XR 110-02), com volume de calda de 250 L ha^{-1}. Todas as parcelas que receberam a aplicação na folhagem foram protegidas por meio de lonas plásticas para evitar a deriva da solução.

2.2 Caracterização de espécies de percevejos existentes no ensaio

A amostragem de percevejos foi realizada pelo método de pano-de-batida estendido no solo entre as fileiras de plantas de feijão-caupi (Hoffman-Campo et al., 2012). Em seguida, as plantas das fileiras paralelas foram sacudidas vigorosamente sobre ele, de forma que os insetos desalojados caíssem sobre o pano e pudessem ser contados. Essa amostragem de percevejos foi realizada semanalmente, no período da tarde, em 10 pontos aleatórios no ensaio, aos 23, 30, 37, 43, 49, 55 e 60 DAE. O pano-de-batida foi confeccionado de tecido branco, nas dimensões de 1 m x 0,5 m, e nas bordas foram adicionadas duas hastes de madeira. Nas amostragens, ninfas com tamanho inferior a 0,5 cm de comprimento não foram contadas, pois não causam danos substanciais às leguminosas (Hoffmann-Campo et al., 2012). Os percevejos coletados foram contabilizados e devidamente montados. A identificação das espécies foi realizada com auxiilio de chaves dicotômicas e literatura especializada (Ribeiro, 2002). Os resultados foram apresentados como a média da porcentagem de cada espécie de percevejo identificada nas sete amostragens.

2.3 Espessura da vagem e danos nos grãos causados por percevejos

Na área útil de 3,6 m^2 foram feitas duas colheitas (60 e 65 DAE). Posteriormente, foram selecionadas aletoriamente 10 vagens de cada parcela para determinar a espessura das vagens. Após a debulha dessas vagens, na região central de cada vagem foi realizada a leitura da espessura da vagem, com auxílio de paquímetro digital. A média das 10 leituras representou a média da parcela.

Todas as vagens colhidas (incluindo as 10 vagens utilizadas para determinar a espessura das vagens) foram debulhadas e a massa de grãos foi pesada, com valores ajustados para 130 g kg^{-1} de água. Nesses grãos foi avaliada a incidência de danos causados pelos percevejos, da seguinte forma: sem danos visíveis e com pelo menos um dano visível causado por percevejos. Posteriormente, os grãos com danos visíveis foram pesados e os resultados foram apresentados como porcentagem de incidência de danos nos grãos.

2.4 Análise estatística

Os dados obtidos do ensaio conduzido no período seco não foram analisados estatisticamente, devido a baixa infestação de percevejos e pequena quantidade de danos nos grãos colhidos dos cultivares. Os dados obtidos do ensaio do período chuvoso foram

submetidos aos modelos lineares mistos com a função *lmer* no pacote *lme4* (Bates et al., 2015). Para todas as variáveis, os efeitos fixos foram os tratamentos com Zn, cultivares e a interação entre esses fatores. Os efeitos aleatórios foram blocos. O valor de *P* dos efeitos fixos foram obtidos no pacote *lmerTest* (Kuznetsova et al., 2017). Com a função *emmeans* no pacote *emmeans* (Lenth, 2021), o teste de Tukey (P≤0,05) foi utilizado para comparar as médias das variáveis influenciadas pelos cultivares, e o teste F foi utilizado para comparar as médias das variáveis influenciadas pelos níveis de Zn. Todas as análises foram feitas no software R versão 4.3.2 (R Core Team 2023).

3. RESULTADOS

3.1 Espécies de percevejos predominantes

No ensaio do período chuvoso, nas sete avaliações consecutivas foram contabilizados 126 percevejos, dos quais foram identificados a incidência de *Crinocerus santus* (n=67), *N. viridula* (n=35), *Euschistus heros* (n=17), *Piezodorus guildinii* (n=4), *Diceraeus* spp. (n=1), *Thyanta perditor* (n=1) e *Neomegalotomus parvus* (n=1) (Fig. 1). No ensaio do período de estiagem, a população de percevejos não atingiu o nível de controle, que é de 1,4 percevejos por pano de batida (Silva e Sobrinho, 2017), portanto, não houve danos significativos causados por percevejos nos grãos dos cultivares de feijão-caupi.

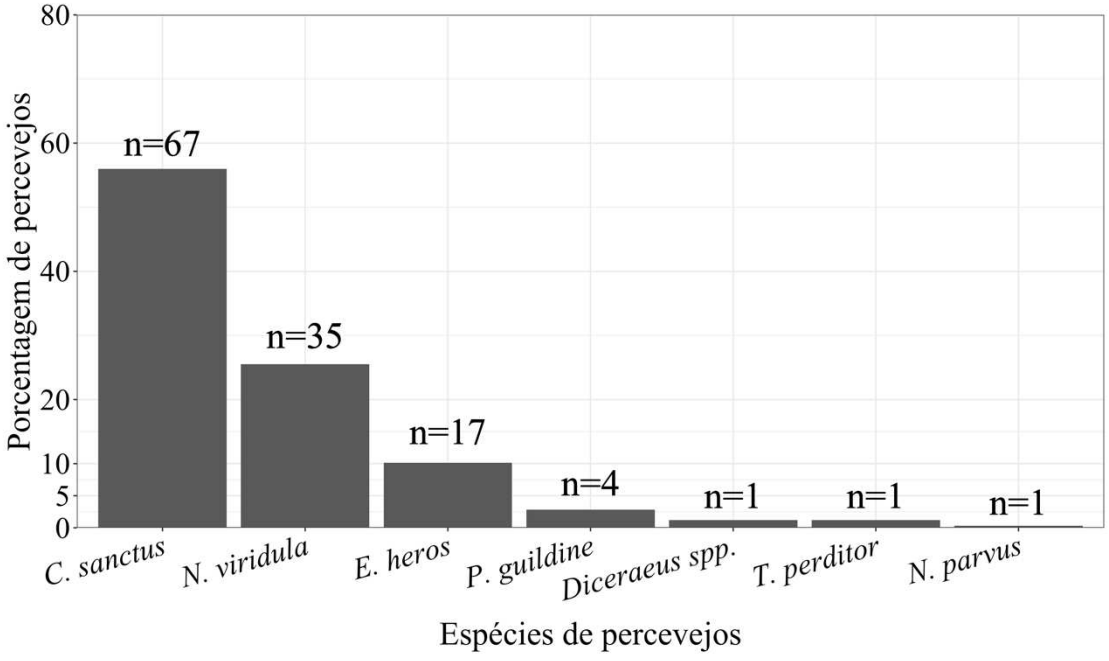

Figura 1. Média da porcentagem de percevejos identificados da espécie *Crinocerus santus*, *Nezara viridula*, *Euschistus heros*, *Piezodorus guildinii*, *Diceraeus* spp., *Thyanta perditor* and *Neomegalotomus parvus* das sete amostragens, no ensaio de campo conduzido no período chuvoso. São Luís, MA, 2022.

3.2 Resistência

O efeito da interação entre cultivares e níveis de Zn sobre a incidência de danos nos grãos foi significativo (Tabela 3).

Tabela 3. Valores de *F* e *P* para os efeitos fixos do modelo ajustado para a incidência de danos nos grãos e espessura da casca da vagem de cultivares de feijão-caupi, em São Luís, Maranhão.

Variáveis (y)	Cultivares (A)		Zn (B)		A x B	
	F	*P*	*F*	*P*	*F*	*P*
Danos nos grãos (%)	78,91	<0,001	58,56	<0,001	14,10	<0,001
Espessura da vagem (mm)	7,34	0,006	0,46	0,506	0,04	0,962

Efeito fixo: y ~ cultivares (A) + tratamentos com Zn (B) + A*B; efeitos aleatórios: ~ 1|bloco

Para o BRS Guariba, os níveis de Zn não influenciaram a incidência de danos nos grãos causados por percevejos (Figura 2a). O Zn aplicado na folhagem reduziu 25,8% e 39,6% a incidência de danos nos grãos dos cultivares BRS Itaim e BRS Novaera, respectivamente. Sem Zn, a média da incidência de danos nos grãos na BRS Guariba foi 50,5% e 36,6% menor que a média das incidências de danos nos grãos dos cultivares BRS Itaim e BRS Novaera, respectivamente. Com Zn, a média da incidência de danos nos grãos da BRS Guariba foi 34,2% menor que a média da incidência de danos nos grãos da BRS Itaim, porém não diferiu da BRS Novaera (Figura 2a).

O efeito da interação entre cultivares e níveis de Zn e o efeito do nível de Zn sobre a espessura da vagem foi não significativo (Tabela 3). O cultivar BRS Guariba apresentou a média da espessura da casca da vagem 29,5% maior que a média das cultivares BRS Itaim e BRS Novaera (Figura 2b).

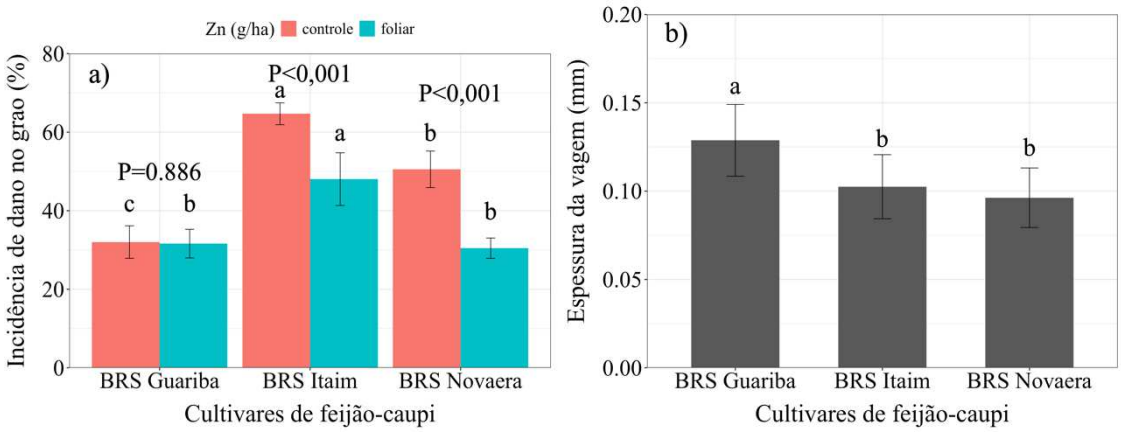

Figura 2. Efeito dos níveis de Zn aplicados na folhagem na porcentagem de danos nos grãos de cultivares de feijão-caupi causados por percevejos (a); efeitos dos cultivares de feijão-caupi na espessura da vagem b). Médias com mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. O teste de F foi utilizado para comparar as médias influenciadas pelos níveis de Zn. A barra de erro denota o erro padrão da média.

4 DISCUSSÃO

A nossa hipótese foi que a aplicação de Zn na folhagem, no início do florescimento, reduz os danos nos grãos de cultivares de feijão-caupi causados por percevejos. A nossa hipótese foi confirmada, pois o Zn aplicado na folhagem, no início do florescimento, reduz os nos grãos causados por percevejos na cultura do feijão-caupi.

As espécies *C. santus, N. viridula* e *E. heros* foram as que apresentaram maior predominância nos cultivares de feijão-caupi estudadas, o que sugere maior suscetibilidade da cultura a essas pragas. A presença de percevejos pragas pode reduzir a produtividade em até 50% (Quintela, 2009; Lourenção et al., 2010; Sosa-Goméz; Silva 2010; Panizzi; Machado-Neto 1992; Depieri; Panizzi, 2011). Além das espécies anteriores, foram encontradas pragas secundárias na cultura, tais como: *Piezodorus guildinii*, *Diceraeus* spp., *T. perditor* e *N. parvus* (Quintela, 2009).

A antixenose descreve a resistência de uma planta com base na preferência de alimentação e oviposição do herbívoro, resultando na seleção de uma planta hospedeira alternativa (Baldin et al., 2019). Genótipos de feijão com menor percentual de danos nos grãos são caracterizados como resistentes ao ataque dos percevejos (Togola et al., 2017). Foi encontrado menor percentual de danos nos grãos do BRS Guariba quando comparado

ao BRS Novaera e ao BRS Itaim, portanto, é razoável supor que esse cultivar de feijão-caupi possui resistência do tipo antixenose contra os percevejos. Diversos fatores podem interferir na escolha dos pentatomídeos para sua alimentação, dentre esses, as características morfológicas das plantas, são cruciais na seleção hospedeira (Baldin et al., 2019).

Para chegar ao endosperma da semente, sabe-se que os percevejos precisam superar uma camada celular rígida, composta por células do esclerênquima que compõem a casca das vagens (Lucini; Panizzi, 2018). Vagens com cascas espessas podem dificultar a penetração dos estiletes dos percevejos através do tecido epidérmico e do parênquima, e essa característica pode indicar resistência física da planta (Lucini et al., 2021). Um estudo conduzido com os percevejos *N. viridula* L. e *P. guildinii* (Hemiptera: Pentatomidae) revelou que o número de picadas de prova de ambas as espécies diminuiu quando os insetos se alimentavam de vagens de soja em estádios fenológicos mais avançados por essas possuírem paredes celulares mais espessas e rígidas (Molina e Trumper, 2012). No nosso estudo, provavelmente a maior espessura da casca da vagem do BRS Guariba contribuiu com a resistência desse cultivar ao ataque de percevejos.

Embora tenham sido consideradas suscetíveis ao ataque de percevejos quando comparadas ao BRS Guariba, os grãos colhidos dos cultivares BRS Novaera e BRS Itaim houve redução da intensidade de danospelos percevejos quando as plantas receberam Zn na folhagem. Esse mecanismo de resistência pode ter relação com o cultivar, pois quando a planta hospedeira é capaz de exportar e concentrar Zn nos grãos ela se torna pouco atraente e pode repelir os insetos-praga (Cabot et al., 2019). Essa resistência da planta hospedeira pode ocorrer, pois a alta concentração de Zn no tecido vegetal pode induzir o acúmulo de metal nos corpos e ovos dos insetos, o que reflete em menor fecundidade, taxas de crescimento populacional reduzidas e altas taxas de mortalidade (Cabot, et al., 2019). Além disso, o Zn aplicado às culturas aumenta a síntese proteica e reduz o acúmulo de aminoácidos, o que torna as plantas hospedeiras menos suscetíveis ao ataque de insetos sugadores (Fageria et al., 2002). De fato, plantas de soja fertilizadas com Zn tiveram menor incidência de pulgões nas folhas e redução de danos nos grãos quando comparadas as plantas cultivadas sem Zn (Wang et al., 2015). Ademais, aplicações de Zn na folhagem reduziram significativamente os danos ocasionados pela broca-do-caule-do-arroz (*Scirpophaga species*) (Lepidoptera: Pyralidae) em cultivos de arroz (*Oryza sativa* L.) (Sarwar, 2011). Sabe-se que o teor de Zn nos grãos de BRS Guariba, BRS Novaera e BRS Itaim aumentam após aplicação de Zn na folhagem (capítulo 1), portanto o acúmulo desse

nutriente nos grãos pode ter contribuído com a resistência desses cultivares ao complexo de percevejos.

5 CONCLUSÃO

Os resultados indicam que o Zn aplicado na folhagem reduz os danos causados por percevejos pragas nos grãos de cultivares de feijão-caupi causados por percevejos. Novos estudos podem ser realizados visando compreender a resposta desses cultivares aos danos de percevejo e o efeito do Zn em outras condições edafoclimáticas.

REFERÊNCIAS

AKBAR, W.; A. T. SHOWLER; T. E. REAGAN, J. A. DAVIS; BEUZELIN, J. M. Feeding by sugarcane aphid, *Melanaphis sacchari*, on sugarcane cultivars with differential susceptibility and potential mechanism of resistance. **Entomol. Exp. Appl.** 150: 32–44, 2013.

BALDIN, E. L.; VENDRAMIM, J. D; LOURENÇÃO, A. **Resistência de plantas a insetos: fundamentos e aplicações**, *[s.l]*, p. 493, 2019.

BAUR, M. E.; D. R. SOSA-GOMEZ, J. OTTEA; B. R. LEONARD, I. C. CORSO, J. J. DA SILVA, J. TEMPLE; D. J. BOETHEL. Susceptibility to insecticides used for control of *Piezodorus guildinii* Heteroptera: Pentatomidae) in the United States and Brazil. J. **Econ. Entomol**. 103: 869–876, 2010.

BAUR, M. E.; D. R. SOSA-GOMEZ, J. OTTEA; B. R. LEONARD, I. C. CORSO, J. J. DA SILVA, J. TEMPLE, AND D. J. BOETHEL. Susceptibility to insecticides used for control of *Piezodorus guildinii* (Heteroptera: Pentatomidae) in the United States and Brazil. J. **Econ. Entomol.** 103: 869–876, 2010.

BOIÇA JÚNIOR, A.L; CAMPOS, Z. R.; CAMPOS, A.R.; VALÉRIO FILHO, W.V; CAMPOS, O. R. *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in cotton: vertical distribution of egg masses, effects of adult density and plant age on oviposition behavior. **Arq Inst Biol**, 80: 424-429, 2013.

BRASIL. Regra para análise de sementes. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Brasília, DF: MARA, 2009. 365p.

BUENO, A. F.; PAULA-MORAES, S. V.; GAZZONI, D. L.; POMARI, A. F. Economic thresholds in soybean-integrated pest management: old concepts, current adoption, and adequacy. **Neotropical entomology**, v. 42, p. 439-447, 2013.

CABOT, C.; MARTOS, S.; LLUGANY, M.; GALLEGO, B.; TOLRÀ, R.; POSCHENRIEDER, C. A role for zinc in plant defense against pathogens and herbivores. Frontiers in plant science, 10, 1171, 2019.

CHEN, M.; LIU, X. D. Estimating insect pest density using the physiological index of crop leaf. **Frontiers in Plant Science**, *14*, 2023.

CORRÊA-FERREIRA, B. S., AND A. R. PANIZZI. Percevejos da soja e seu manejo. Embrapa Soja, Londrina, Brazil, 1999.

DE ARAÚJO, ANNA BEATRIZ NOGUEIRA. Testes de Vigor de Estresse e Bioquímicos em Sementes de Feijão Caupi–Uma revisão. Research, **Society and Development**, v. 11, n. 12, p. e288111234550-e288111234550, 2022.

DEPIERI, R. A.; PANIZZI, A. R. Duração da alimentação e danos superficiais e profundos em sementes de soja por espécies selecionadas de percevejos (Heteroptera: Pentatomidae). **Neotrop. Entomol**. 40: 197–203, 2011.

DEVI, C.B.; KUSHWAHA A.; KUMAR, A. Sprouting characteristics and associated changes in nutritional composition of Cowpea (*Vigna unguiculata*). **Journal of Food Science and Technology**, v.52, p.6821-6827, 2015.

FAGERIA, NK; BALIGAR, VC; CLARK, RB Micronutrientes na produção agrícola. Avanços na agronomia , v. 77, p. 185-268, 2002.

FONSECA SANTOS, M.; MÖLLER, M.; CLOUGH, S. J.; PINHEIRO, J. B. Heritability of agronomic traits correlated with reduced stink bug damage in an F2:3 soybean population derived from IAC-100. **Journal of Crop Improvement**, 32(1), 1–18, 2018.

FREIRE FILHO, F.R.; CRAVO, M.S.; VILARINHO, A.A.; CAVALCANTE, E.S.; FERNANDES, J.B.; SAGRILO, E.; RIBEIRO, V.Q.; ROCHA, M.M.; SOUZA, F.F.; LOPES, A.M.; GONÇALVES, J.R.P.; CARVALHO, H.W.L.; RAPOSO, J.A.A.;

SAMPAIO, L.S. BRS Nova Era: Cultivar de feijão-caupi de porte semi-ereto. Belém – Pará, 2008. https://www.embrapa.br/en/busca-de publicacoes/-/ publicacao/408906/brs-novaera-cultivar-de-feijaocaupi- de-porte-semi-ereto.

FREIRE FILHO, F.R.; RIBEIRO, V.Q.; ROCHA, M.M.; SILLVA, S.M.S.; SITTOLIN, I.M. BRS Guariba: Nova cultivar de feijão-caupi para a região Meio-Norte. Teresina – Piauí, 2004. https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/ doc/54343.

FREIRE FILHO, F.R.; ROCHA, M.M.; RIBEIRO, V.Q.; DAMASCENO E SILVA, K.J.; CARVALHO, H.W.L.; CRAVO, M.S.; LOPES, A.M.; VILARINHO, A.A.; SABOYA, R.C.; CAVALCANTE, E.S.; COSTA, A.F.; ALCÂNTARA, J.P.; SITTOLIN, I.M. BRS Itaim: cultivar de feijão-caupi com grãos tipo fradinho. Teresina - Piauí, 2009. https://ainfo.cnptia.embrapa.br/ digital/bitstream/item/80763/1/brs-itaim.pdf.

GRAHAM, Robin D.; WEBB, Michael J. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. Micronutrients in agriculture, v. 4, p. 329-370, 1991.

GIL, P. T. D.; FONTES, P. C. R., CECON, P. R.; FERREIRA, F. A. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, *20*, 611-615, 2002.

GUEDES, R. N. C. Insecticide resistance, control failure likelihood and the First Law of Geography. Pest Management Science, v. 73, n. 3, p. 479-484, 2017.

HENG-MOSS, T. M.; BAXENDALE, F. P.; RIORDAN, T. P.; YOUNG, L.; LEE, K. Chinch bug-resistant buffalograss: an investigation of tolerance, antixenosis, and antibiosis. **Journal of Economic Entomology**, 96(6), 1942-1951, 2003.

JACKAI, L.E.N; NOKOE, S.; TAYO, B.O.; KOONA, P. Inferences on pod wall and seed defences against the brown cowpea coreid bug, *Clavigralla tomentosicollis* Stal. (Hem., Coreidae) in wild and cultivated Vigna species. **Journal Appl Entomol** 125(5):277–286, 2001.

KEBEDE, E.; BEKEKO, Z. Exposição da produção e importância do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) na Etiópia. 2020.

KRAUSE, F. A. Reação de genótipos de soja ao ataque do percevejo *Euschistus heros*: atratividade, preferência alimentar e avaliação em diferentes níveis de infestação. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

KUSWANTORO, H.; MEJAYA, I. M. J.; BALIADI, Y. Determination of agronomical characters as the resistance attributes of twenty soybean varieties to stink bug (*Nezara viridula* L.). **AGRIVITA, Journal of Agricultural Science**, 42(1), 53-67, 2020.

LOURENÇÃO, A. L.; RECO, P. C.; BAGA, N. R.; DO VALLE, G. E.; J. B. Pinheiro. 2010. Produtividade de genótipos de soja sob infestação da lagarta-da-soja e de percevejos. **Neotrop. Entomol**. 39: 275–281.

LUCINI, T.; PANIZZI, A. R. Electropenetrography monitoring of the neotropical brown-stink bug (Hemiptera: Pentatomidae) on soybean pods: an electrical penetration graph-histology analysis. **Journal of Insect Science**, *18*(6), 5, 2018.

LUCINI, T.; PANIZZI, A. R.; BUENO, A. D. F. Evaluating resistance of the soybean block technology cultivars to the Neotropical brown stink bug, *Euschistus heros* (F.). **Journal of Insect Physiology**, *131*, 104228, 2021.

MARTINS, J. F.; VAN TAN, N.; DA SILVEIRA PINHEIRO, B. Resistência de arroz de sequeiro à broca-do-colmo e sua associação com características morfológicas das plantas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 16(2), 187-192, 1981.

MAZIERO, H.; GUEDES J.V.C.; FARIAS, J.R.; RODRIGUES, R.B.; DALAZEN G & PRÁ ED. Volume de calda e inseticidas no controle de *Piezodorus guildonii* (Westwood) na cultura da soja. **Ciência Rural**, 39:1307-1312, 2009.

MOLINA, G. A.; TRUMPER, E. V. Selection of soybean pods by the stink bugs, *Nezara viridula* and *Piezodorus guildinii*. **Journal of Insect Science**, *12*(1), 104, 2012.

PAINTER, R. H. Insect resistance in crop plants. The University Press of Kansas, Lawrence, KS, 1951.

PANIZZI, A. R.; BUENO, A. F.; SILVA, F. A. C. Insetos que atacam vagens e grãos. In: HOFFMANN-CAMPO, C. B.; CORRÊA FERREIRA, B. S.; MOSCARDI, F. Soja: manejo integrado de pragas e outros Artrópodes-pragas. Brasília: **EMBRAPA**, 2012. p.335-420.

PANIZZI, A. R.; MACHADO-NETO, E. Development of nymphs and feeding habits of nymphal and adult *Edessa meditabunda* (Heteroptera: Pentatomidae) on soybean and sunflower. **Ann. Entomol. Soc**. Am. 85: 477–481, 1992.

PATANAKAMJORN, S.; PATHAK, M.D. Varietal resistance of rica to the asiatic rica borer, Chio suppressalis (Lepidoptera: Crambidae), and its association with various plant characters. **Ann. Entomol. Soc. Azo**., 60(2): 287-92, 1967.

PETRO LO; REDAK, R. A. Host plant preference and performance of *Bemisia arenicolid* (Homoptera: Aleyrodidae) on poinsettia (*Euphorbia pulchirrima*) in relation to variety. US Dept Agric, **Agric Res Serv,** July, 2000.

PETRO, L.; REDAK, R.; BETHKE, J.; PERRING, T.M. Preference and performance of silverleaf whitefly on selected poinsettia varieties. US Dept Agric, **Agric Res Serv**, June 2002.

QUINTELA, E. D. Manual de identificação de insetos e outros invertebrados pragas do feijoeiro. Embrapa Arroz e Feijão-Documentos (INFOTECA-E), 2009.

RIBEIRO, V. Q. Cultivo do feijão-caupi (Vigna unguiculata (L.) Walp), 2002.

SARWAR, M. Effects of Zinc fertilizer application on the incidence of rice stem borers (Scirpophaga species) (Lepidoptera: Pyralidae) in rice (*Oryza sativa* L.) crop. **Journal of Cereals and Oilseeds**, 2(5), 61-65, 2011.

SCOTT, J. G. in Handbook of Pest Management in Agriculture. (ed. Pimentel, D.) 663 (CRC Press, Boca Raton, 1991).

SILVA, P. H.; SOBRINHO, C. A. Níveis de dano e de controle do percevejo-verde-da-soja *Nezara viridula* (Hemiptera: Pentatomidae) em feijão-caupi. **Revista Agroambiente,** 11(4), 373-378, 2017.

SINGH, B. B.; EHLERS, J. D.; SHARMA, B.; FREIRE FILHO, F.R. Recent progress in cowpea breeding. Fatokun CA, Tarawali SA, Singh BB, Kormawa PM, pp 22–40, 2002.

SMITH, C. M. Plant resistance to arthropods molecular and conventional approaches. Springer, Dordrecht, Netherlands, 2005.

SMITH, C. M.; CLEMENT, S.L. Molecular bases of plant resistance to arthropods. **Annu Rev Entomol**, 57: 309-328, 2012.

SOSA-GOME´Z, D. R.; AND J. J., SILVA 2010. Neotropical brown stink bug (Euschistus heros) resistance to methamidophos in Parana, Brasil. Pesqui. Agropecu. Bras. 45: 767–769.

SOSA-GOME´Z, D. R.; SILVA, J. J. Neotropical brown stink bug (Euschistus heros) resistance to methamidophos in Parana, Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira,** 45: 767–769. 2010.

TAN, H. Revisão de marcadores moleculares aplicados no melhoramento do feijão-caupi (Vigna unguiculata L. Walp.). **Journal of Life Sciences** , v. 6, n. 11, pág. 1190, 2012.

TEMPLE, J. H.; B. R. LEONARD, J. A. DAVIS, K.; FONTENOT. Insecticide efficacy against red banded stink bug, *Piezodorus guildinii* (Westwood), a new stink bug pest of Louisiana soybean. **Midsouth Entomol**. 2: 68–69, 2009.

TINGEY, W. M.; LEIGH, T. F. Height preference of Lygus bugs for oviposition on caged cotton plants. **Environmental Entomology**, 3(2), 350-351, 1974.

TOGOLA, A.; BOUKAR, O.; BELKO, N.; CHAMARTHI, S. K.; FATOKUN, C.; TAMO, M.; OIGIANGBE, N. Host plant resistance to insect pests of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.): achievements and future prospects. **Euphytica**, 213, 1-16, 2017.

WANG, X. Z., LIU, D. Y., ZHANG, W., WANG, C. J., CAKMAK, I., & ZOU, C. Q. An effective strategy to improve grain zinc concentration of winter wheat, Aphids prevention and farmers' income. **Field Crops Research**, v. 184, p. 74-79, 2015.