UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE ENGENHARIA
CÂMPUS DE ILHA SOLTEIRA

JOSIANE SOUZA SALLES

QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES E CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DO FEIJOEIRO EM FUNÇÃO DE BORO E ZINCO VIA FOLIAR

Ilha Solteira
2023

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Ilha Solteira

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

JOSIANE SOUZA SALLES

QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES E CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DO FEIJOEIRO EM FUNÇÃO DE BORO E ZINCO VIA FOLIAR

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Unesp como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Especialidade (Sistemas de produção).

Prof. Dr. Orivaldo Arf
Orientador

Prof. Dr. Flávio Ferreira da Silva Binotti
Coorientador

Ilha Solteira
2023

FICHA CATALOGRÁFICA
Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

Salles, Josiane Souza.
S168q Qualidade fisiológica de sementes e características agronômicas do feijoeiro em função de boro e zinco via foliar / Josiane Souza Salles. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2023
70 folhas f. : il.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2023

Orientador: Orivaldo Arf
Co-orientador: Flávio Ferreira da Silva Binotti
Inclui bibliografia

1. *Phaseolus vulgaris* L.. 2. Adubação foliar. 3. Micronutrientes. 4. Cultivares. 5. Germinação e vigor. 6. Crescimento e produtividade.

Raiane da Silva Santos
Supervisora Técnica de Seção
Seção Técnica de Referência, Atendimento ao usuário e Documentação
Diretoria Técnica de Biblioteca e Documentação
CRB/8 - 9999

unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Ilha Solteira

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES E CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DO FEIJOEIRO EM FUNÇÃO DE BORO E ZINCO VIA FOLIAR

AUTORA: JOSIANE SOUZA SALLES
ORIENTADOR: ORIVALDO ARF
COORIENTADOR: FLAVIO FERREIRA DA SILVA BINOTTI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Agronomia, especialidade: Sistemas de Produção pela Comissão Examinadora:

Prof.Dr. ORIVALDO ARF (Participaçao Virtual)
Fitotecnia Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / FEIS/UNESP - Ilha Solteira

Prof. Dr. EDSON LAZARINI (Participaçao Virtual)
Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – UNESP

Prof. Dr. RICARDO ANTONIO FERREIRA RODRIGUES (Participaçao Virtual)
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia - Câmpus de Ilha Solteira / UNESP

Prof. Dr. EDILSON COSTA (Participaçao Virtual)
Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul – UEMS

Prof. Dr. EDUARDO PRADI VENDRUSCOLO (Participaçao Virtual)
Unidade universitária de Cassilândia / Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul - UEMS

Ilha Solteira, 23 de janeiro de 2023.

“O sucesso é a soma de pequenos esforços repetidos
dia após dia”

Robert Collier.

DEDICATÓRIA

Dedico primeiramente a Deus por todas as oportunidades concedidas, especialmente pela capacidade de concluir o doutorado. Dedico principalmente à minha família, em especial, aos meus pais, Terezinha e Russel, por todo apoio, que proporcionam durante meus estudos, em todos os momentos, me transmitindo toda estabilidade necessária, incentivando a me dedicar e buscar o meu melhor como estudante e pessoa.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora, por todas as bênçãos e saúde concedida, para continuar no caminho de realizar meus objetivos e sonhos.

Agradeço à minha família, aos meus pais, Terezinha e Russel, assim como minhas irmãs Jessica e Jussara, e ao meu namorado Alexandre Henrique, por serem meu alicerce e me apoiarem incondicionalmente. O meu tão sonhado título, conquistei graças ao incentivo de vocês, mesmo nos momentos difíceis, obrigada por nunca me deixarem desistir.

Agradeço aos meus orientadores, Prof. Dr. Marco Eustáquio de Sá, por toda orientação, sempre com muita dedicação, serenidade, competência e principalmente com carinho e paciência, quanto orgulho sinto por ter recibo sua orientação. Ao Prof. Dr. Orivaldo Arf por se fazer sempre presente, auxiliar nas avaliações da condução do experimento, pela orientação a qualquer momento, disponibilidade e atenção, profissional ímpar. Ambos foram primordiais para meu aprendizado e crescimento profissional, me ensinaram muito, muito obrigada por tudo.

Agradeço também, ao meu coorientador Prof. Dr. Flávio Ferreira da Silva Binotti, por todo apoio durante esta etapa, sempre esteve presente, me orientando em momentos de dúvidas e condução dos experimentos. O convívio com o senhor nestes últimos anos, me ensinou muito, tanto para meu desenvolvimento profissional quanto pessoal, agradeço por toda as orientações e conselhos.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Câmpus de Ilha Solteira, a todo corpo docente da pós-graduação de doutorado em agronomia, por todo conhecimento transmitido e a todos os funcionários pela qualidade de atendimento e atenção com os alunos. Assim como agradeço, a Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul -UEMS, unidade de Cassilândia, que me cedeu estrutura e apoio na elaboração e continuidade de análises deste experimento.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por meio da concessão de bolsa. “O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001”.

Meu agradecimento especial aos membros da banca Prof. Dr. Edson Lazarini, Prof. Dr. Edilson Costa, Prof. Dr. Eduardo Pradi Vendruscolo e Prod. Dr. Ricardo Antônio Ferreira Rodrigues, que aceitaram o convite e por terem contribuído com sugestões para acrescentar e melhorar a qualidade do trabalho.

RESUMO

O feijão é uma cultura de grande importância econômica nacional por integrar a dieta alimentar básica, por ser rico em fibras e proteínas. Com a crescente demanda por alimentos e qualidade de sementes, a adubação foliar nos cultivos, pode incrementar a produtividade e a qualidade fisiológica de sementes. Dessa forma, objetivou-se avaliar as características agronômicas e qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro cultivar IAC-1850 e TAA DAMA-4, em função da adubação foliar com diferentes doses de boro e zinco. O experimento foi desenvolvido em sistema irrigado na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", na fazenda experimental localizada em Selvíria-MS, entre maio a agosto de 2021 e 2022. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com 4 repetições, num esquema fatorial 4 x 4, sendo 4 doses de boro (0; 50; 100 e 150 g ha^{-1}) e 4 doses de zinco (0; 100; 200 e 300 g ha^{-1}), tendo com fonte, o ácido bórico e o sulfato de zinco, respectivamente, com aplicação no estádio V4-4 (quatro folhas trifolioladas expandidas) com calda de 200 L ha^{-1}. Pela análise do solo o teor de boro e zinco foram 0,40 e 4,9 mg dm^3 no primeiro e 0,28 e 0,6 mg dm^3 no segundo ano, respectivamente. Foram analisadas variáveis de crescimento, produção e produtividade, assim como qualidade fisiológica de sementes. As doses crescentes de B e Zn favoreceram maior altura da cultivar TAA DAMA-4, quanto a vagens chochas da cultivar IAC-150 não houve ajuste, mas para TAA DAMA-4 houve ponto de mínimo de 97,5 g ha^{-1}. A adubação foliar, não influenciou nas características de germinação e emergência para a cultivar IAC-1850, mas para a cultivar TAA DAMA-4 a aplicação de boro e zinco aumentou a velocidade e porcentagem de germinação e emergência. Os resultados para condutividade demonstraram que a adubação foliar foi benéfica para qualidade fisiológica de ambas cultivares. Para cultivar IAC-1850 a dose de 50 g ha^{-1} de B associada a 153.9 g ha^{-1} de Zn, assim como a 300 g ha^{-1} de Zn com 64,12 g ha^{-1} de B para a cultivar TAA DAMA-4 promovem maior produtividade estimada em 1799,66 kg ha^{-1} e 2516,39 kg ha^{-1}, respectivamente. O boro e zinco influenciam os componentes de crescimento, produção e qualidade fisiológica, com comportamento diferente entre cultivares.

PALAVRAS-CHAVE: *Phaseolus vulgaris* L., adubação foliar, micronutrientes, TAA DAMA-4, IAC-1850, vigor, germinação, crescimento, produtividade

ABSTRACT

Beans are a crop of great national economic importance as they are part of the basic diet, as they are rich in fiber and protein. With the growing demand for food and seed quality, foliar fertilization in crops can increase the productivity and physiological quality of seeds. Thus, the objective was to evaluate the agronomic characteristics and physiological quality of bean cultivar IAC-1850 and TAA DAMA-4 seeds, as a function of foliar fertilization with different doses of boron and zinc. The experiment was carried out in an irrigated system at Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", at the experimental farm located in Selvíria-MS, between May and August 2021 and 2022. The experimental design used was in randomized blocks, with 4 replications, in a 4 x 4 factorial scheme, with 4 doses of boron (0; 50; 100 and 150 g ha^{-1}) and 4 doses of zinc (0; 100; 200 and 300 g ha^{-1}), with boric acid and zinc sulfate, respectively, applied at stage V4-4 (four expanded trifoliate leaves) with a 200 L ha^{-1} spray. By soil analysis, boron and zinc contents were 0.40 and 4.9 mg dm^3 in the first year and 0.28 and 0.6 mg dm3 in the second year, respectively. Variables of growth, production and productivity were analyzed, as well as the physiological quality of seeds. The increasing doses of B and Zn favored greater height of the TAA DAMA-4 cultivar, as for empty pods of the IAC-150 cultivar, there was no adjustment, but for TAA DAMA-4 there was a minimum point of 97.5 g ha^{-1}. Leaf fertilization did not influence the germination and emergence characteristics for the IAC-1850 cultivar, but for the TAA DAMA-4 cultivar, the application of boron and zinc increased the speed and percentage of germination and emergence. The results for conductivity showed that foliar fertilization was beneficial for the physiological quality of both cultivars. To cultivate IAC-1850, the dose of 50 g ha^{-1} of B associated with 153.9 g ha^{-1} of Zn, as well as 300 g ha^{-1} of Zn with 64.12 g ha^{-1} of B for the cultivar TAA DAMA -4 promote higher productivity estimated at 1799.66 kg ha^{-1} and 2516.39 kg ha^{-1}, respectively. Boron and zinc influence the components of growth, production and physiological quality, with different behavior among cultivars.

ABSTRACT: *Phaseolus vulgaris*, foliar fertilization, micronutrients, TAA DAMA-4, IAC-1850, vigor, germination, growth, productivity.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise do solo da área experimental da fazenda da UNESP, Selvíria-MS, referente ao experimento de 2021. Ilha Solteira-SP, 2023.....35

Tabela 2. Análise do solo da área experimental da fazenda da UNESP, Selvíria-MS, referente ao experimento de 2022. Ilha Solteira-SP, 2023.....36

Tabela 3. Descrição dos tratamentos aplicados para pulverização foliar com boro e zinco. 37

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Condições meteorológicas de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) durante o período de condução do experimento no primeiro (2021) (A) e segundo ano (2022) (B). Ilha Solteira-SP, 2023. S= Semeadura, F= Florescimento e C= Colheita. Dados obtidos das estações meteorológicas do CLIMA FEIS (UNESP), Ilha Solteira-SP. 36

Figura 2. Altura de plantas do feijoeiro (cm) da cultivar IAC-1850 (AP_1) e cultivar TAA DAMA-4 (AP_2), em função das doses de boro (A) e zinco (B) via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2023. 45

Figura 3. Altura de inserção da primeira vagem (cm) do feijoeiro para a cultivar IAC-1850 (AIPV_1) e TAA DAMA-4 (AIPV_2), em função das doses de boro (A) e zinco (B) via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2023.....46

Figura 4. Sementes por planta do feijoeiro da cultivar IAC-1850 (SP_1) e TAA DAMA-4 (SP_2), em função das doses de boro (A) e zinco (B) via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2023.....47

Figura 5. Vagens por planta da cultivar IAC-1850 (VP_1) e TAA DAMA-4 (VP_2), em função das doses de boro e zinco via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2023.....48

Figura 6. Massa de mil sementes (g) da cultivar IAC-1850 (MMS_1) e TAA DAMA-4 (MMS_2), em função das doses de boro (A) e zinco (B) via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2023.....49

Figura 7. Vagens chochas por planta de feijão da cultivar IAC-1850 (VC_1) e TAA DAMA-4 (VC_2), em função das doses de boro (A) e zinco (B) via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2023.....50

Figura 8. Desdobramento da interação entre as doses de boro e zinco para a produtividade do feijoeiro da cultivar IAC-1850 (PROD_1_A) e TAA DAMA-4 (PROD_2_B), em função das doses de boro e zinco via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2023. 51

Figura 9. Diagrama de ordenação por análise de componentes principais para a variável de peneiras (P10, P11, P12, P13 e P14), para a cultivar IAC-1850 (A) e TAA-DAMA 4 (B). Ilha Solteira-SP, 2023. Tratamentos (T): T1= testemunha, T2= 0 B + 100 Zn, T3= 0 B + 200 Zn, T4= 0 B + 300 Zn, T5= 50 B + 0 Zn, T6= 50 B + 100 Zn, T7= 50 B + 200 Zn, T8= 50 B + 300 Zn, T9= 100 B + 0 Zn, T10= 100 B + 100 Zn, T11= 100 B + 200 Zn, T12= 100 B + 300 Zn, T13= 150 B + 0 Zn, T14= 150 B + 100 Zn, T15= 150 B + 200 Zn, T16= 150 B + 300 Zn, em g $há^{-1}$.....53

Figura 10. Germinação de sementes da cultivar IAC-1850 (GERM_1) em função das doses de boro e zinco (A) e desdobramento entre as doses de boro e zinco para a germinação de sementes para a cultivar TAA DAMA-4 (GERM_2), em função das doses de boro e zinco via aplicação foliar (B). Ilha Solteira-SP, 2023. 54

Figura 11. Desdobramento entre as doses de boro e zinco para a primeira contagem de germinação de sementes da cultivar IAC-1850 (PC_1_A) e da cultivar TAA DAMA-4 (PC_2_B), em função das doses de boro e zinco via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2023. 56

Figura 13. Índice de velocidade de emergência de plântulas de feijão da cultivar IAC-1850 (IVE_1) e TAA DAMA-4 (IVE_2), em função das doses de boro (A) e zinco (B) via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2022.....58

Figura 14. Tempo médio de emergência de plântulas de feijão da cultivar IAC-1850 (TME_1) e TAA DAMA-4 (TME_2), em função das doses de boro (A) e zinco (B) via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2023.....59

Figura 15. Envelhecimento acelerado das sementes de feijão da cultivar IAC-1850 (ENV_1) e TAA DAMA-4 (ENV_2), em função das doses de boro (A) e zinco (B) via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2023.....60

Figura 16. Desdobramento entre as doses de boro e zinco para a condutividade elétrica de sementes do feijoeiro da cultivar IAC-1850 (COND_1_A) e TAA DAMA-4 (COND_2_B), em função das doses de boro e zinco via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2023. 62

Figura 17. Redes de correlações de Pearson entre as doses de boro e zinco para as variáveis de estudo para a cultivar IAC-1850 (A) e TAA DAMA-4 (B). Ilha Solteira-SP, UNESP, 2023. O comprimento das linhas indica a intensidade das correlações. Linhas verdes indicam correlações positivas e linhas vermelhas indicam correlação negativa.. 64

Figura 18. Análise multivariada dos componentes do estudo por meio das variáveis canônicas para os dados de crescimento e produção (A) e qualidade fisiológica de sementes (B) para a cultivar IAC-1850 (_1) e cultivar TAA DAMA-4 (_2). Ilha Solteira-SP, UNESP, 2023. Tratamentos: T1= testemunha, T2= 0 B + 100 Zn, T3= 0 B + 200 Zn, T4= 0 B + 300 Zn, T5= 50 B + 0 Zn, T6= 50 B + 100 Zn, T7= 50 B + 200 Zn, T8= 50 B + 300 Zn, T9= 100 B + 0 Zn, T10= 100 B + 100 Zn, T11= 100 B + 200 Zn, T12= 100 B + 300 Zn, T13= 150 B + 0 Zn, T14= 150 B + 100 Zn, T15= 150 B + 200 Zn, T16= 150 B + 300 Zn, em g $há^{-1}$. 65

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14
2 CAPÍTULO I - REVISÃO DE LITERATURA 17
2.1 A CULTURA DO FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris*) 17
2.2 INFLUÊNCIA DOS MICRONUTRIENTES BORO E ZINCO NAS PLANTAS 20
2.3 EFEITOS DA ADUBAÇÃO COM OS MICRONUTRIENTES BORO E ZINCO EM LEGUMINOSAS 22
2.4 QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES 25
REFERÊNCIAS 28
3 CAPÍTULO II - CARACTERÍSTICAS AGRÔNOMICAS E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE FEIJÃO EM FUNÇÃO DE BORO E ZINCO VIA FOLIAR 33
3.1 INTRODUÇÃO 33
3.2 MATERIAL E MÉTODOS 35
3.2.1 Localização e caracterização da área experimental 35
3.2.2 Delineamento experimental 37
3.2.3 Descrição dos materiais utilizados 38
3.2.4 Manejo e condução da cultura 38
3.2.5 Avaliação dos componentes de crescimento, produtividade e potencial fisiológico das sementes 40
3.2.6 Análise estatística 43
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO 44
3.4 CONCLUSÃO 66
REFERÊNCIAS 67

1 INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) possui expressividade sociocultural e econômica a nível nacional, pois seu grão apresenta riqueza alimentar, independente da classe social, para os mais diversos núcleos familiares, sendo considerado para o brasileiro como um alimento básico das refeições, do seu dia a dia (SILVA; WANDER, 2013). A grande demanda pelo alimento, exige o investimento em pesquisa para favorecer a qualidade e produtividade da cultura.

A crescente demanda promove o avanço da produção agrícola intensiva. Neste tipo de produção, o uso do solo a longo prazo, promovem consumo de micronutrientes de forma generalizada, sendo essencial sua reposição, especialmente em áreas com solos arenosos e ácidos que, em regiões úmidas, tem elevada deficiência de boro e zinco. Além da adubação do solo, a nutrição das plantas pode ser complementada pela adubação foliar, pois ocorre a difusão mineral pela cutícula e absorção por células foliares, sendo considerada mais ágil e eficiente para fases de crescimento rápido (TAIZ *et al*., 2017).

Diversas pesquisas são desenvolvidas com intuito de selecionar técnicas e tecnologias de produção para atingir elevadas produtividades e, concomitantemente, produzir sementes e alimentos com elevada qualidade. Neste aspecto, o estudo com a aplicação de micronutrientes nas culturas de interesse econômico, tomou proporções muito maiores, do que apenas buscar a maior produtividade. Desta forma, a busca pelo efeito da adubação, na qualidade fisiológica, é realizada visando produção de sementes de elevado vigor.

As aplicações de nutrientes, sejam macronutrientes ou micronutrientes, é realizado devido a essencialidade destes componentes intrínsecos à estrutura ou como atuantes no metabolismo da planta, cuja função é atribuída às diferentes etapas do crescimento, desenvolvimento e reprodução. Em condições de disponibilidade adequada, juntamente com água e energia, a planta consegue sintetizar todos os componentes necessários para o crescimento adequado (TAIZ *et al*., 2017).

Portanto, a adubação com micronutrientes é essencial para a nutrição de plantas, e quando as condições de solo e/ou cultivo não atendem à demanda do cultivo tem-se

alterações metabólicas, entretanto há resposta peculiares entre e dentro da própria espécie, em função de características genéticas (LEAL; PRADO, 2008), em especial do feijoeiro. Apesar da importância dos efeitos destes micronutrientes nas diferentes culturas, para a cultura do feijão, há poucos trabalhos na literatura que evidenciam e elucidam a interferência e o efeito da adubação foliar sobre plantas e sementes.

De acordo com Imran e Amanulhah (2021) resultados positivos na produtividade foram observados no feijoeiro com a adubação via solo associada entre boro e fósforo. Assim como Flores *et al*. (2017) relacionam que a adubação foliar com boro pode suprir a demanda em sistemas de cultivo irrigado, devido a lixiviação de B, além de incrementar a produtividade de grãos de feijão BRS Estilo, em relação a produção sem aplicação foliar, recomendando a dose de 4 kg ha^{-1}. Dantas (2021) verificaram aumento linear de massa de grãos e produtividade de feijoeiro, com aumento de doses de zinco (0 a 20 kg $há^{-1}$) associado a adição de boro (com e sem).

Em condições de estudo com boro foliar na cultura da soja, Kappes *et al*. (2008), identificaram influência na altura de plantas pelo uso de doses crescentes do boro (0, 100, 200, 300 e 400 g $há^{-1}$), porém, sem que estas interferissem na qualidade das sementes. Em contrapartida, em estudo com adubação foliar conjunta de cálcio e boro, houve incremento no vigor de sementes de feijão do cultivar Pérola e Campeão 2 (FARINELLI *et al*., 2008).

A qualidade fisiológica das sementes, que englobam as características físicas, sanitária, genética e fisiológica, está relacionada com a disponibilidade de nutrientes no momento de formação da semente, que influencia na constituição dos tecidos, pois os nutrientes estão relacionados com o desenvolvimento do embrião, cotilédones e tecidos de reserva. Dessa forma, plantas com adequado manejo de adubação, além de, apresentarem maior resistência às adversidades ambientais, tornam-se mais produtivas, com formação de sementes de elevada qualidade e vigor (GOMES JUNIOR; SÁ, 2010; ZUCARELLI *et al*., 2011).

A partir dessa premissa, objetivou-se avaliar os efeitos da adubação foliar sobre as cultivares de feijão IAC-1850 e TAA DAMA-4, com diferentes doses dos micronutrientes boro e zinco, aplicados de forma isolada ou combinados sobre as

características de crescimento e produtividade das plantas, e qualidade fisiológica de sementes.

2 CAPÍTULO I - REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CULTURA DO FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris*)

O feijoeiro é uma leguminosa de extensa importância mundial. A maior produção de feijão concentra-se na Ásia, Américas e África. O Brasil tem destaque na produção mundial deste grão, sendo que nos últimos cinco anos, ocupa a terceira posição como maior produtor, com produção em 2020 superior a 3 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2022). A produção nacional na safra de 2021/2022 foi estimada em 3,05 milhões de toneladas, destas 1.813 mil toneladas foram correspondentes ao feijão comum cores, sendo mais produzido que o feijão comum preto e feijão caupi (CONAB, 2022a).

Conforme levantamentos para a safra 2022/2023, a estimativa de produção corresponde a 2,96 milhões de toneladas. Para o feijão de primeira safra os estados brasileiros com maior destaque são Paraná, São Paulo e Minas Gerais. Para a segunda safra destaca-se a região Centro-Sul, enquanto para terceira safra a produção em Minas Gerais, Mato Grosso, Goiás caracterizam as principais regiões produtoras (CONAB, 2022b). O cultivo de feijão é amplamente disseminado nos diferentes Estados do Brasil, por ser uma espécie difundida na cultura nacional e, devido a sua elevada qualidade nutricional, torna-se essencial o abastecimento do mercado consumidor.

Nas diferentes regiões do país pode-se realizar a semeadura em diferentes épocas do ano, sendo que a cultura contempla três safras, podendo ser implantada na safra das águas, safra da seca e safra de inverno. As três safras que envolvem a implantação da lavoura estão associadas a época do ano, a época das águas corresponde a semeadura na primavera, a safra da seca com implantação da cultura no verão, e na safra de inverno que permeia o outono-inverno, caracterizando especialmente as áreas irrigadas (COSTA *et al*., 2021).

Além da diferenciação quanto época de cultivo, o feijão pode ser classificado quanto ao tipo, em dois grupos. No grupo I enquadra-se o feijão comum (*Phaseolus vulgaris*), enquanto no grupo II o feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L) Walp.) (CHAVES; BASSINELLO, 2014). De acordo com a classificação da produção nacional realizada pela CONAB, o feijão pode ser classificado como feijão comum cores, feijão comum preto

e feijão caupi. Dentro do grupo cores, tem-se cultivares como carioca, rajado, mulatinho, vermelho/roxo, jalo e branco (CONAB, 2022a, b; COSTA *et al*., 2021).

O feijoeiro é uma cultura de grande diversidade, pois além das diferentes épocas de condução, pode-se empregar diferentes níveis tecnológicos, como a safra de inverno, por ser amplamente cultivada com sistema de irrigação na região do Cerrado (SILVA; WANDER, 2013). Assim como, apresenta diferentes sistemas de produção, desde cultivos solteiros em pequenas e grandes áreas, com e sem irrigação, ou mesmo em cultivos consorciados (COSTA *et al*., 2021).

Assim como apresenta variações quanto ao sistema de cultivo, há grande variedade de cultivares. Quanto as cultivares de feijão no Brasil, no grupo do feijão comum cores, o mais popularmente conhecido e consumido é o feijão carioquinha (grupo carioca), caraterizado pelos grãos de coloração bege com várias listras amarronzadas. Dentro deste grupo, tem-se como exemplos as cultivares Aporé, Pérola, Rudá, Princesa, que apresentam hábito de crescimento indeterminado com porte semiereto, sendo o ciclo de 75 a 90 dias. Outras como BRS 10408 Notável, BRS estilo, BRS sublime, apresentam porte ereto, também crescimento indeterminado, com ciclo médio de 90 dias. Por ser uma cultura de grande demanda, há significativo investimento em programas de melhoramento vegetal para o desenvolvimento de cultivares, sendo assim, justifica-se a diversificação de material genético existentes no mercado (MELO *et al*., 2021).

As plantas de feijão também são caracterizadas quanto ao seu hábito de crescimento e capacidade de prostar ou não, os quais são de importante conhecimento para o arranjo espacial da cultura no campo. Dessa forma, a cultura é dividida em quatro grupos, sendo tipo I, II, III e IV. As plantas do tipo I corresponde as cultivares de crescimento determinado, que estabilizam o crescimento vegetativo ao iniciar o reprodutivo, são plantas menores que atingem cerca de 60 cm de altura. O tipo II são plantas com crescimento indeterminado, ou seja, continuam vegetando mesmo com o surgimento das primeiras inflorescências, são plantas arbustivas de até 70 cm. O tipo III e IV, também são de crescimento indeterminado, mas apresentam característica de trepadeira e chegam a atingir até 1,20 m de altura para o tipo III, enquanto o tipo IV podem prostar e, podem crescer mais de 2,0 m de altura (AIDAR *et al*., 2002).

Quanto a fenologia, apresentam em sua escala de desenvolvimento, duas

grandes fases, vegetativa (V) e reprodutiva (R). A fase vegetativa divide-se em cinco estádios V0, V1, V2, V3 e V4, assim como a reprodutiva, dividida em R5, R6, R7, R8 e R9. A fase V0- corresponde a etapa de germinação, V1- emergência, V2- surgimentos das folhas primárias, V3- primeira folha composta aberta, enquanto V4 caracteriza a terceira folha trifoliolada completamente desenvolvida. R5- constitui a fase de prefloração, R6 – plantas com 50% de flores abertas, R7 – etapa de flores fecundadas, ocorrendo a formação das vagens. Na etapa R8- tem-se o enchimento dos grãos, por fim na R9 as vagens apresentam coloração amarelada, devido a maturação, começam a secar (OLIVEIRA *et al*., 2018).

O feijoeiro é uma cultura tolerante a diferentes faixas ambientais, por ser caracterizada como foto neutra, possui desenvolvimento adequado em condições de temperaturas médias de 30°C durante o dia e temperaturas menores noturnas, por volta de 18°C. Essa oscilação de temperatura requerida, favorece a produtividade do cultivo do feijão na safra de inverno, devido às menores temperaturas noturnas, além de menor incidência de pragas e doenças, condições que justificam maior produtividade que as demais safras (SILVA, 2015).

As condições hídricas são um dos principais entraves para a cultura, sejam estas de déficit ou excesso. Sistemas de cultivo em épocas que podem ocorrer a escassez de água, a irrigação torna-se fundamental. Desse modo, podem ser utilizados diferentes métodos de irrigação, seja por aspersão, superfície ou por subirrigação. O método de aspersão é mais comumente empregado, como o convencional com aspersores, o autopropelido e o pivô central (STONE *et al*., 2014). A irrigação suplementar, prática adotada principalmente no cultivo de inverno, devido à baixa pluviosidade, é necessária para adequado desenvolvimento e enchimento de grãos, coincidindo com a colheita sem precipitação, com isso a qualidade sanitária das sementes e grãos são maiores (VAZQUEZ; SÁ, 2015).

Em relação as exigências nutricionais, o feijoeiro, mesmo sendo uma cultura de ciclo curto, é altamente exigente em nutrientes, como nitrogênio, fósforo e potássio. A exigência por nitrogênio é alta, devido a importância do nutriente no enchimento de grãos. Conforme as vagens e grãos vão se desenvolvendo, a cultura necessita de fornecimento nutricional adequado, sendo primordial na fase de florescimento. Além destes, requerem

altas quantidade de enxofre, pois apresentam grande quantidade de proteínas, e o enxofre relaciona-se com a constituição dos aminoácidos na cultura. Quanto aos micronutrientes, tanto molibdênio como o zinco, apresentam destaque no manejo por serem importante para o metabolismo vegetal (BUZETTI *et al*., 2015).

O feijoeiro deve ser colhido quando as sementes atingem a maturidade fisiológica, com umidade em torno de 38 e 44%, mas devido à alta umidade, a trilha das plantas deve ser realizada quando os grãos apresentam por volta de 22% de umidade. Em casos de colheita tardia, podem ocorrer perdas em função da deiscência das vagens, quando muito secas (SILVA; FONSECA, 2014). Os grãos também são classificados após a colheita, para que seja padronizado de acordo com o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), a qualidade do produto comercializado. A classificação é realizada em Tipo 1, 2 e 3, fora de tipo e desclassificado, de acordo com a ocorrência de danos. Os danos podem ser graves como grãos mofados, ardido, grãos germinados, com ataques de carunchos ou danos leves como, amassados, danificados, partidos ou quebrados, que são menos aparentes (KNABBEN; COSTA, 2012).

2.2 INFLUÊNCIA DOS MICRONUTRIENTES BORO E ZINCO NAS PLANTAS

No aspecto nutricional para as plantas, os micronutrientes mesmo sendo requerido em quantidades inferiores aos macronutrientes, são primordiais para o adequado desenvolvimento. São considerados como micronutrientes o boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e molibdênio (Mo). Em solos do Cerrado, desde o início de exploração, foi identificada a necessidade de adubações frequentes de micronutrientes aos cultivos, em especial de B e Zn. Com o passar dos anos foi consolidada a prática, de maneira generalizada para Zn, B e Cu, de modo a garantir produtividades satisfatórias na região (RESENDE, 2003).

Esses micronutrientes, devem ser supridos para os solos, quando em baixa concentração, mas em condições que originalmente não são desprovidos, o baixo teor de boro pode ser provocado por condições de textura arenosa, altos índices pluviométricos, matéria orgânica reduzida e pH abaixo de 5,0. Enquanto que para o zinco a deficiência pode estar relacionada à textura arenosa do solo, calagem excessiva ou pH

elevado e alta concentração de matéria orgânica. Desse modo, são necessárias pesquisas que disponibilizem informações criteriosas, quanto a dinâmica de disponibilidade e tecnologia de aplicação para um cenário competitivo por produtividade elevada (RESENDE, 2003).

Com relação aos teores dos micronutrientes no solo, conforme o Boletim 100, verifica-se que para o boro teores entre 0 e 0,20 mg dm^{-3} são classificados como baixos, entre 0,21 e 0,60 mg dm^{-3} teor médio, quando maior que 0,60 mg dm^{-3} teor. Para o zinco, descreve-se que concentrações entre 0 e 0,5 mg dm^{-3} consistem no teor baixo, entre 0,6 e 1,2 mg dm^{-3} em teor médio e quando superior a 1,2 mg dm^{-3} o teor é alto (RAIJ *et al*., 1997). Conforme o boletim do Cerrado de correção e adubação, o B é classificado na faixa de 0 a 0,2 mg dm^{-3} como teor baixo, entre 0,3 e 0,5 mg dm^{3} como teor médio, enquanto maior que 0,5 mg dm^{3} o teor é alto. Para o zinco os dados para interpretação são similares aos elaborados para o Estado de São Paulo (Boletim 100), independente do extrator, sendo as mesmas recomendações citadas anteriormente (SOUSA; LOBATO, 2004).

O micronutriente boro, é classificado como um nutriente que participa de funções como armazenagem de energia e integridade de estruturas, além de, atuar como constituinte das paredes celulares. Relaciona-se com o alongamento de células e com metabolismo de ácidos nucleicos. Devido a sua atuação, em casos de deficiência pode causar inibição da síntese de lignina, inibição da elongação afetando a diferenciação do xilema e acarretar alterações no metabolismo de fitormônios, DNA e RNA; as plantas podem apresentar aspecto de engrossamento do ápice radicular, assim como, atraso no crescimento ou necrose de folhas novas, com hastes e pecíolos mais grossos. Ademais, o boro tem relação estreita com o crescimento do tubo polínico, daí a grande importância na fase reprodutiva, para evitar abortamento de botões, flores e frutos. Relaciona-se também, com formação de vagens chochas e secamento dos pontos de crescimento (meristemas) (KERBAUY, 2004, TAIZ *et al*., 2017, BUZETTI *et al*., 2015).

O zinco é um micronutriente que apresenta como função a ativação de enzimas, pois age no acoplamento destas ao seu substrato. Auxilia no metabolismo de carboidratos, proteínas e auxinas, atua na expressão gênica, sendo necessário na biossíntese de clorofila de algumas espécies. Exerce papel importante na permeabilidade

de membranas, sendo associado à tolerância de doenças fúngicas, também atua como um cofator enzimático e regulador osmótico. Em casos de deficiência as plantas apresentam folhas pequenas e retorcidas. No feijoeiro, as folhas mais velhas apresentam clorose entre nervuras que culminam em manchas necróticas esbranquiçadas, devido a falta do nutriente na formação de clorofilas (KERBAUY, 2004, TAIZ *et al*., 2017).

A aplicação foliar de micronutrientes deve ser realizada, principalmente em culturas anuais, em situações que não foram adicionados via solo ou quando insuficientes para o adequado desenvolvimento, em casos de baixo teor dos nutrientes no solo. A adubação foliar visa corrigir deficiências momentâneas e o boro apresenta baixa mobilidade na planta, desta forma, podem ser necessárias numerosas aplicações que elevam o custo de produção (SOUSA; LOBATO, 2004). Neste contexto, é primordial o desenvolvimento de pesquisa para alinhar as doses adequadas para redução de aplicações e gerar efeito positivo no crescimento vegetal.

Grande parte dos vegetais conseguem absorver nutrientes pelas folhas quando aplicados por meio da pulverização foliar, via aspersão de uma película fina. Entre as vantagens promovidas pela adubação foliar, estão o menor tempo entre a aplicação e a absorção pela planta, podendo em alguns casos ser mais eficiente que a aplicação via solo. Quando em contato com a parte aérea das plantas, os nutrientes adentram o interior da folha por meio de difusão pela cutícula vegetal ou abertura estomática (TAIZ *et al*., 2017).

Em síntese, as plantas podem absorver os nutrientes via foliar, os quais podem ser utilizados pelo metabolismo e potencializar seu desenvolvimento, sendo refletido em caracteres produtivos. Para que a aplicação realmente promova efeitos benéficos, há necessidade de pesquisas que definam doses, fontes e modo de aplicação, pois o comportamento para cada nutriente pode ser variável de acordo com a espécie e/ou cultivar utilizada.

2.3 EFEITOS DA ADUBAÇÃO COM OS MICRONUTRIENTES BORO E ZINCO EM LEGUMINOSAS

O suprimento de boro na cultura do feijoeiro, pela adubação via solo ou foliar, se

faz muito importante para o adequado crescimento e desenvolvimento da espécie. De acordo com Corioletti *et al*. (2021) é um nutriente responsável pela manutenção da membrana plasmática, pois integra a parede celular. Primordial no crescimento do tubo polínico, agindo diretamente na capacidade reprodutiva da planta. Portanto, esse micronutriente assume elava importância na fase reprodutiva e formação de sementes de feijoeiro.

Em sistema de produção do feijão em consórcio com a cultura da mamona, foram verificados que a adubação via solo de ácido bórico possibilitou a formação de sementes com maior capacidade de germinação (LIMA *et al*., 2013). Santana *et al*. (2020) verificaram para as variáveis de peso de cem grãos e número de grãos por vagem, houve influência positiva da aplicação de boro na dose de 675 g ha^{-1} na cultura do feijoeiro. Estes autores, ressaltam que o emprego de boro não pode ser efetuado indiscriminadamente, pois este micronutriente pode ser tóxico para as plantas em doses excessivas.

Resultados obtidos com adubação boratada na cultura da soja em estudo de Silva *et al*. (2017) demonstraram que com baixa disponibilidade de água no solo, a aplicação de boro não surte efeito nas plantas. No caso de solo com disponibilidade de água em torno de 70%, doses de 0,7 e 1,0 mg dm^3 promovem maior crescimento e produtividade de grãos. Efeitos positivos da adubação de boro, também foram verificados por Varanda *et al*. (2018) para a cultura da soja com aplicação de boro, a partir de ácido bórico e octaborato, para as características agronômicas como número de vagens e produtividade.

De acordo com Campos *et al*. (2021) o boro é um micronutriente importante para fixação biológica de nitrogênio e formação das sementes de soja. Ao avaliarem o efeito das épocas de aplicação juntamente com doses via solo, obtiveram que a aplicação de 3,24 kg ha^{-1} no início da fase reprodutiva, apesar não afetar a produtividade da cultivar Monsoy 7110 IPRO, promoveu maior vigor de sementes. Estes autores relacionam que, devido ao boro ser um nutriente pouco móvel na planta, a adubação foliar também pode favorecer incrementos para produtividade e qualidade de sementes.

A adubação por meio de fertirrigação com zinco (0, 10, 15 e 20 kg ha-1) com e sem adição de boro no estádio fenológico V4 do feijão cultivar BRS Estilo, foi realizada

por Morais *et al*. (2020), os quais verificaram que houve efeito positivo da associação dos micronutrientes, com aumento na massa de grãos e produtividade em função do aumento linear das doses de zinco na presença de boro. Resultados positivos também foram obtidos por Flores *et al* (2017) ao avaliar adubação foliar de boro no feijão cultivar BRS estilo em sistema irrigado, com fonte de bórax e ácido bórico. O uso de bórax na dose de 4 kg ha^{-1} foi mais eficiente em promover maior fotossíntese liquida, além de aumentar em 8% o rendimento de grãos, equivalente a 311 kg ha^{-1} superior ao tratamento sem boro, contudo o uso de ácido bórico reduziu o rendimento de grãos.

Ao avaliar a qualidade fisiológica e produção de grãos de feijão BRS pérola em sistema irrigado com doses de 0, 2, 4, 6 e 8 kg ha^{-1} via foliar e solo, Flores *et al*. (2019) relatam que a aplicação da dose de 8 kg ha^{-1} reduziu a produção em 21%. Viçosi *et al*. (2020) ao aplicarem boro foliar no feijão vagem, nas doses de 0, 1350, 2700, 4050 e 5400 ppm, no estádio vegetativo V3, com terceiro trifólio aberto, observaram aumento no teor nutricional nas estruturas da parte aérea em 868% e radicular em 105%, entretanto não alterou nas vagens, apesar da maior concentração, não surtiram efeito no crescimento e produtividade.

A aplicação de boro nas cultivares Jules, G11867 e Shekoofa de feijão branco com o uso do ácido bórico, por meio da água de irrigação nas doses de 0, 2 e 4 kg ha^{-1} combinadas via foliar nas doses de 0,0025% e 0,05% de solução, mostrou que a adubação de 2 kg ha^{-1} na água de irrigação, associada a pulverização foliar com 0,0025% de solução, promoveu maior produtividade para todas cultivares (HOSSEINI; AMINI, 2019).

Adubação foliar com adubação foliar com Zn não influenciou na qualidade fisiológica das sementes de feijão, como germinação, primeira contagem e envelhecimento acelerado, entretanto o zinco foliar incrementou o teor do nutriente na semente. Mesmo sendo parcialmente móvel, o Zn pode migrar das folhas para os grãos, sendo fundamental para a nutrição inicial das plântulas (TEIXEIRA *et al*., 2005).

A aplicação foliar de zinco no feijoeiro na região do Paraná, em Latossolo Vermelho, com aplicação em pré-florescimento, não apresentou efeito sobre as variáveis de rendimento e produtividade, o qual justificou-se pelos níveis adequados do nutriente no solo (BRESSON *et al*., 2018). Resultados obtidos por Mahdieh *et al*. (2018) com zinco

foliar no feijão carioca, em duas aplicações, favoreceram as características vegetativas como altura de plantas e fitomassas, assim como produtividade. Em pesquisa com o feijoeiro Kachinski *et al*. (2020) avaliaram a aplicação via solo e foliar de zinco, sendo com (600 g ha^{-1}) e sem a aplicação. A aplicação foliar de zinco, com ou sem aplicação via solo, para a cultivar BRS esteio no estágio de floração promoveu maior altura de inserção de primeira vagem, contudo houve redução na produtividade de grãos.

2.4 QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES

A semente se caracteriza como o principal insumo da agricultura, sendo o alicerce de todo um sistema produtivo. As sementes devem apresentar adequados atributos físicos, fisiológicos, genético e sanitário, que são fundamentais para o estabelecimento da lavoura. O fator fisiológico, está relacionado à capacidade desta estrutura formar uma nova planta, com adequado desenvolvimento e vigor. Sementes vigorosas vão originar plântulas fortes, com capacidade de crescimento rápido e estabelecimento adequado dos cultivos no campo, desde que sejam ofertadas as condições ambientais adequadas (VAZQUEZ; SÁ, 2015).

Para garantir uma produção de sucesso, o uso de sementes de elevada qualidade é fundamental, apesar de ser um desafio para o setor produtivo, uma vez que, elas devem ser capazes de germinar e formar plantas aptas a manter o potencial produtivo sob diversas condições, em especial naquelas em que há fatores ambientais adversos. Para que isto ocorra é imprescindível o investimento em tecnologias específicas para a formação de sementes (FRANÇA NETO *et al*., 2016).

Sabe-se que as condições nas quais as sementes são submetidas quando semeadas podem não ser adequadas. Dessa forma, a resposta germinativa em condições de estresses artificias, como os estresses simulados em laboratório, caracterizam ferramentas para avaliação da tolerância em condições estressantes naturais (GUEDES *et al*., 2013). O que justifica a aplicação de testes laboratoriais com essa finalidade, de modo a transparecer o vigor das sementes analisadas.

A qualidade fisiológica das sementes pode ser observado através do desempenho delas no campo. As sementes devem apresentar potencial elevado de

mobilização de reservas, para formar plântulas com características morfológicas adequadas. Neste caso, o maior desempenho deve-se ao vigor da semente, que está diretamente relacionado com a capacidade e uniformidade de germinar e emergir, assim como o crescimento das plântulas no solo. O efeito do vigor de sementes pode não influir sobre a produtividade da cultura, mas é altamente responsável pela emergência e estabelecimento do estande de plantas no campo (ROSSI *et al*., 2017).

A aplicação de micronutrientes via foliar pode promover a formação de sementes que contêm maior conteúdo nutricional, em nível de reservas (CAMBRAIA *et al*., 2019). Esses micronutrientes exercem funções em níveis celulares, como ativadores ou composição de enzimas, que podem estimular o processo germinativo, como também, favorecer a emergência e capacidade de crescimento a campo, formando plântulas com elevado desenvolvimento de área foliar e sistema radicular (MONDAL; BOSE, 2019).

Assim como, descrito anteriormente, conforme Araújo *et al* (2011) entre as análises laboratoriais estão os testes de primeira contagem de germinação, emergência no campo, envelhecimento acelerado e condutividade elétrica. Estes testes, são eficientes em estratificar o vigor de sementes, para analisar a qualidade fisiológica e descrever a capacidade de desenvolvimento destas à campo.

No processo de germinação, com a embebição da semente têm-se a digestão das reservas e síntese de enzimas, assim como divisão de células. Durante esta fase, condições adversas provocam lentidão na germinação e crescimento, devido ao maior tempo entre os estádios de formação. Além de limitar absorção de nutrientes, esta lentidão predispõe a semente e consequentemente a plântula a má formação e menor resistência a condições adversas, prolongando o ciclo da cultura (MAGALHÃES; DURÃES, 2002).

A busca por influência da adubação foliar na qualidade de sementes produzidas, relaciona-se a capacidade de translocação dos nutrientes para a formação de grãos. De acordo com Binotti (2015) em função da intensidade do crescimento dos grãos, os assimilados das folhas são translocados, preferencialmente, para as vagens presentes nos ramos mais próximos.

Há grande variedade de estudos que abordam a nutrição de plantas como meio de promover maior qualidade fisiológica de sementes, entretanto os resultados muitas

vezes são discrepantes entre os nutrientes e entre as condições de estudo. De acordo com Marcos filho (2005) a nutrição das plantas surte efeito nas sementes, principalmente sobre o tamanho e peso, sendo que para o potencial fisiológico muitos fatores precisam ser elucidados. Em função da variedade de metodologias aplicados nestes estudos, justifica a variação dos resultados observados, assim, entende-se que as diferentes respostas obtidas na qualidade fisiológica das sementes deve-se principalmente a forma de execução do que a inexistência de relação, entre os nutrientes e o potencial fisiológico das sementes.

REFERÊNCIAS

AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J.; THUNG, M. **Sistema de Produção do Feijoeiro Comum em Várzeas Tropicais: Estabelecimento da Cultura**. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 6p. (Embrapa Arroz e Feijão. Circular técnica, 56).

ARAUJO, R. F.; ZONTA, J. B.; ARAUJO, E. F.; HEBERLE, E.; ZONTA, F. M. G. Teste de condutividade elétrica para sementes de feijão-mungo-verde. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 33, p. 123-130, 2011.

BINOTTI, F. F. S. Descrição e fisiologia da planta. In: ARF, O.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; FERRARI, S. (ed.). **Aspectos gerais da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).** Botucatu-SP: FEPAF, 2015. p. 29-38.

BRESSON, J. B.; ZANÃO JUNIOR, A.; MIOLA, V.; ANDRADE, E. A.; ROTTA, L. I. Aplicação de zinco via foliar na cultura do feijoeiro. **Cultivando o Saber**, [*s. l.*], p. 81-87, 2018.

BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; TEIXEIRA FILHO, M. C.; GAZOLA, R. N.; DINALLI, R. P. Aspectos gerais da adubação da cultura. In: ARF, O.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; FERRARI, S. (ed.). **Aspectos gerais da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).** Botucatu-SP: FEPAF, 2015. p. 29-38.

CAMPOS, T. S.; SANTOS, W. S.; ROSSETTI, C.; SOUZA, A. G. V.; FARIA, L. O.; CINTRA, P. H. N., MELO, O. F. P.; RODRIGUES, D. B.; BENETT, C. G. S.; BENETT, K. S. S.; TUNES, L. V. M.; MIGUEL, P. Productivity, quality and composition of soybean seeds in storage as a function of boron doses at different phenological stages. **Revista de Ciências Agrárias**, [*s. l.*], v. 44, n. 1, 2021.

CHAVES, M. O.; BASSINELLO, P. Z. O feijão na alimentação humana. In: GONZAGA, A. C. O. (ed.). **Feijão**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. 2. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 15-24.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos,** Brasília, DF, v. 9, safra 2021/22, n. 11 décimo primeiro levantamento, agosto 2022a.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos,** Brasília, DF, v. 10, safra 2022/23, n. 1º primeiro levantamento, outubro 2022b.

CORIOLETTI, N. S. D.; CORIOLETTI, S.; SILVA, V. L. Influência da adubação bórica na cultura do feijoeiro. **Scientific Electronic Archives**, Sinop, v. 14, n. 5, p. 89-98, 2021.

COSTA, J. G. C.; DIAZ, J. L. C.; FARIA, L. C.; FERREIRA, A. W.; PELOSO, M. J. D.; PEREIRA, H. S.; MELO, L. C. **Cultivo do Feijão**: Cultivares. Brasília, DF: AGEITEC, Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2021.

FAOSTAT. **Food And Agriculture Organization Of The United Nations**. (2022). Explore data. Produção mundial de feijão. Disponível em: https://www.fao.org/faostat/en/#home.

FARINELLI, R.; PENARIOL, F. G.; DE SOUZA, F. S.; PIEDADE, A. R.; LEMOS, L. B. Características agronômicas e qualidade fisiológica de sementes de cultivares de feijão adubados via foliar com cálcio e boro. **Científica**, Dracena, SP, v. 34, n. 1, p. 59–65, 2008.

FLORES, R. A.; CUNHA, P. P.; DAMIN, V.; ABDALA, K, O.; MARANHAO, D. D. C.; SANTOS, M. M. Physiological quality and grain production of 'Phaseolus vulgaris' (cv. BRS Perola) using boron (B) application under irrigatation system. **Australian Journal of Crop Science,** Lismore, v. 13, n. 4, p. 520-528, 2019.

FLORES, R. A.; SILVA, R. G.; CUNHA, P. P.; DAMIN, V.; ABDALA, K. D. O.; ARRUDA, E. M.; RODRIGUES, R. A.; MARANHÃO, D. D. C. Economic viability of Phaseolus vulgaris (BRS Estilo) production in irrigated system in a function of application of leaf boron*.* **Acta Agricultura e Scandinavica***,* Hoboken, v. 67, n. 8, p. 697-704, 2017.

FRANÇA NETO, J. B.; KRZYZANOWSKI, F. C.; HENNING, A. A.; PÁDUA, G. P.; LORINI, I.; HENNING, F. A. **Tecnologia da produção de semente de soja de alta qualidade**. Londrina: Embrapa Soja, 2016. 82 p. (Documentos, 380).

GOMES JUNIOR, F. G.; SÁ, M. E. Proteína e qualidade de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em função da adubação nitrogenada em plantio direto. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasilia, DF, v. 32, n. 1 p. 034-044, 2010.

GUEDES, R. S.; ALVES, E. U.; VIANA, J. S.; GONÇALVES, E. P.; LIMA, C. R.; SANTOS, S. R. N. Germinação e vigor de sementes de *Apeiba tibourbou* submetidas ao estresse hídrico e diferentes temperaturas. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 1, p. 45-53, 2013.

HOSSEINI, S. M.; AMINI, Z. Yield and yield components of white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars affected by boric acid rates and methods of application. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 42, n. 11-12, p. 1378-1385, 2019.

KAPPES, C.; GOLO, A. L.; CARVALHO, M. A. C. Doses e épocas de aplicação foliar de boro nas características agronômicas e na qualidade de sementes de soja. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 3, p. 291-297, 2008.

KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Editora guanabara koogan, 2004. 470 p.

KNABBEN, C. C.; COSTA, J. S. **Manual de classificação do feijão**: Instrução Normativa nº 12, de 28 de março de 2008. Brasília, DF: Embrapa, 2012. 25 p.

LEAL, R. M.; PRADO, R. M. Desordens nutricionais no feijoeiro por deficiência de macronutrientes, boro e zinco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, [*s. l.*], v. 3, n. 4, p. 301-306, 2008.

LIMA, M. L.; CARDOSO, F. R.; GALANTE, A. H. A.; TEIXEIRA, G. C. S.; TEIXEIRA, I. R.; ALVES, S. M. F. Fontes de dosesd e boro na qualidade de sementes de feijão comum e mamona sob consorcio. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, n. 4, p. 31-38, 2013.

LOUREIRO, M. P.; CUNHA, L. R.; NASTARO, B. T.; PEREIRA, K. Y. S.; NEPOMOCENO, M. L. Biofortificação de alimentos: problema ou solução? **Segurança Alimentar e Nutricional,** Campinas, v. 25, n. 2, p. 66-84, maio/ago. 2018.

MAGALHÃES, P. C.; DURÃES, F. O. M. **Cultivo do milho**: germinação e emergência. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2002. 9 p. (Comunicado técnico, 39).

MAHDIEH, M.; SANGI, M. R.; BAMDAD, F.; GHANEM, A. Effect of seed and foliar application of nano-zinc oxide, zinc chelate, and zinc sulphate rates on yield and growth of pinto bean (Phaseolus vulgaris) cultivars. **Journal of plant nutrition**, New York, v. 41, n. 18, p. 2401-2412, 2018.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de Sementes de Plantas Cultivadas**. 2 ed. Londrina: ABRATES, 2015. 659p

MELO, L. C.; PEREIRA, H. S.; PELOSO, M J.; COSTA, J. G. C.; FARIA, L. C.; FERREIRA, A. W.; DIAS, J. L. **Cultivo do feijão**: Carioca. Brasília, DF: AGEITEC, Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2021.

MONDAL, S.; BOSE, B. Impact of micronutrient seed priming on germination, growth, development, nutritional status and yield aspects of plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 42, n. 19, p. 2577-2599, 2019.

MORAIS, W. A.; SILVA, C. H. F.; SOARES, F. A. L.; TEIXEIRA, M. B.; SILVA, N. F.; CAVALCANTE, W. S. S. Produtividade do feijão-comum fertirrigado com zinco e boro em latossolo vermelho de cerrado. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, Fortaleza, v. 14, n. 5, 2020.

OLIVEIRA, L. F. C.; OLIVEIRA, M. G. C.; WENDLAND, A.; HEINEMANN, A. B.; GUIMARÃES, C. M.; FERREIRA, E. P. B.; QUINTELA, E. D.; BARBOSA, F. R.; CARVALHO, M. C. S.; LOBO JUNIOR, M.; SILVEIRA, P. M.; SILVA, S. C. **Conhecendo a Fenologia do Feijoeiro e Seus Aspectos Fitotécnicos**. 2. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 61 p.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Boletim técnico 100: Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed.rev.atual. Campinas, Instituto Agronômico/Fundação IAC, 1997. 285 p.

RESENDE, A. V. **Adubação com micronutrientes no Cerrado**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. 43 p. (Documentos, 80).

ROSSI, R. F.; CAVARIANI, C.; FRANÇA-NETO, J. B. Vigor de sementes, população de plantas e desempenho agronômico de soja. **Revista de Ciências Agrarias**, Lisboa, v. 60, n. 3, p. 215- 222, 2017.

SANTANA, O. I.; SANTOS, M. S.; SANTOS, C. A. P.; CAMPOS, N. M. Produção de feijão-de-corda sob diferentes doses de nitrogênio aliado à aplicação de boro. **Agropecuária Científica no Semiárido,** Patos, v.16, n. 2, p. 75-80, 2020

SILVA, J. G.; FONSECA, J. R. Colheita. In: GONZAGA, A. C. O. (ed.). **Feijão**: o produtor pergunta, a Embrapa responde. 2. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 209-234.

SILVA, M. S. Implantação da cultura. In: ARF, O.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; FERRARI, S. (Ed.). **Aspectos gerais da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).** Botucatu: FEPAF, 2015. p. 163-180.

SILVA, O. F.; WANDER, A. E. **O feijão-comum no Brasil**: passado, presente e futuro. Santo Antônio de Goiás, GO: Embrapa Arroz e Feijão, 2013. 63 p. (Documentos, 287).

SILVA, R. C. D.; SILVA JUNIOR, G. S.; SILVA, C. D. S.; SANTOS, C. T., PELÁ, A. Nutrição com boro na soja em função da disponibilidade de água no solo. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 18, n. 4, p. 155-165, 2017.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2. Ed. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. **Cultivo do Feijão**: manejo de irrigação. Brasília, DF: AGEITEC, Agência Embrapa de Informação Tecnológica, 2021. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/feijao/producao/manejo-de-irrigacao.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. A. Irrigação. In: GONZAGA, A. C. O. (ed.). **Feijão: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. 2. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 97-112.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal.** 6.Ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

VARANDA, M. A. F; MENEGON, M. Z; NASCIMENTO, V. L; CAPONE, A; BARROS, H. B. Efeitos da aplicação foliar de boro na produtividade de soja na várzea irrigada. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 11, n. 2, p. 15-22, 2018.

VAZQUEZ, G. H.; SÁ, M. E. Tecnologia e produção de sementes. In: ARF, O.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; FERRARI, S. (Ed.). **Aspectos gerais da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).** Botucatu: FEPAF, 2015. p. 315-336.

VIÇOCI, K. A.; CARVALHO, A. S. C.; SILVA, D. C.; ALMEIDA, F. P.; RIBEIRO, D.; FLORES, R. A. Foliar Fertilization with Boron on the Growth, Physiology, and Yield of Snap Beans. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition,** Heidelberg, v. 20, p. 917–924, 2020.

ZUCARELI, C.; PRANDO, A. M.; RAMOS JÚNIOR, E. U.; NAKAGAWA, J. Fósforo na produtividade e qualidade de sementes de feijão Carioca Precoce cultivadas no período das águas. **Revista Ciência Agronômica**, [*s. l.*], v. 42, n. 1, p. 32-38, 2011.

3 CAPÍTULO II - CARACTERÍSTICAS AGRÔNOMICAS E QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE FEIJÃO EM FUNÇÃO DE BORO E ZINCO VIA FOLIAR

3.1 INTRODUÇÃO

O feijão comum constitui a base da alimentação brasileira e, em conjunto com o arroz, integra as principais refeições diárias, principalmente, de famílias com vulnerabilidade social. Em função do seu consumo diário, de acordo com Oliveira *et al*. (2018), diversas pesquisas são voltadas para a cultura visando um alimento que constitua cada vez mais uma fonte nutricional, com excelente qualidade para atender as demandas dos diversos tipos de consumidores.

Nos últimos 20 anos, considerando o período de 2000 a 2020, as três principais regiões produtoras mundiais consistiram na Ásia (44,1%), Américas (31,1%) e África (22,2%). Nesse período, os países com maior produção foram a Índia, Brasil, Myanmar, China, Estados Unidos da América e México. No ano de 2020 o Brasil ocupou a segunda posição como maior produtor mundial, com cerca de 3.035.290,00 toneladas (FAOSTAT, 2022). Ressalta-se, assim, que para atingir essa elevada produção, é necessário um correto manejo da adubação e nutrição dos cultivos, pois essa leguminosa assume grande importância socioeconômica para o país.

O manejo da adubação foliar pode favorecer o acúmulo dos nutrientes nas diferentes estruturas vegetais, os quais enriquecem o alimento, sendo posteriormente benéficos para à alimentação (SANTANA *et al*., 2020). A importância do fornecimento nutricional de micronutrientes, em especial de boro (B) e zinco (Zn), está fundamentada na limitação do crescimento vegetal em condições de deficiência deles em cultivos intensivos, pois esta limitação restringe o potencial produtivo da cultura (NAKAO *et al*., 2018) e ocasiona perdas nas lavouras.

A ação dos micronutrientes é primordial para o desenvolvimento da cultura, o que embasa o desenvolvimento de diversas pesquisas com diferentes espécies. Em estudo com diferentes doses de Zn variando de 0 a 800 g ha^{-1}, Bresson *et al*. (2018) não verificaram efeito sobre os componentes de produção, estando relacionado com o nível

adequado no solo na condição de estudo. Enquanto Sulino *et al*. (2021) observaram que aplicação dos micronutrientes Mn, Zn associada ao macronutriente S, incrementaram a massa de mil grãos e produtividade, sendo que a maior produtividade foi explicada pelo efeito do zinco no fertilizante foliar. Pesquisa com pulverização foliar com micronutrientes manganês, ferro, zinco e boro, realizado por Hira *et al*. (2021) demonstraram que a aplicação de zinco e boro foram mais eficazes no crescimento, rendimento e qualidade do feijão [*Vigna mungo* (L.) Hepper].

A adubação foliar com boro sobre a qualidade fisiológica de sementes, não promoveu resultados satisfatórios conforme Reis *et al*. (2008) para germinação e vigor de sementes de feijão, sendo que doses acima de 500 g ha^{-1} de B reduziram a produtividade. Em estudo realizado por Berti *et al*. (2019) identificaram efeito benéfico do boro, o qual promoveu maior vigor às sementes de soja, em condições de aplicação via solo. Ao avaliar o efeito da aplicação foliar de zinco para soja, Karami *et al*. (2016) verificaram maior produtividade e qualidade fisiológica, como maior germinação e vigor de plântulas. Com relação ao potencial fisiológico de sementes, Oliveira *et al*. (2017) denotam que são escassos os trabalhos com adubação de zinco na região do Cerrado.

A aplicação dos micronutrientes, em diversas pesquisas, podem influenciar de forma benéfica, assim como não surtirem efeito nas culturas estudadas, especialmente, em função das diferentes condições de estudo, como características de solo e variedade. Associado a estes fatores, a aplicação de forma combinada de dois micronutrientes como boro e zinco, são passíveis de pesquisas, para determinar a eficiência da associação nas características agronômicas e produtividade na cultura do feijoeiro.

Em virtude da importância dos micronutrientes no crescimento vegetal e seus reflexos na produtividade da cultura, analisar o possível potencial que a complementação nutricional à campo pode vir a promover para a qualidade fisiológica das sementes, fundamentam a eficiência da adubação foliar com micronutrientes. Dessa forma, objetivou-se avaliar as características agronômicas, produtividade e potencial fisiológico das sementes de feijoeiro, em função da adubação foliar com diferentes doses dos micronutrientes boro e zinco.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Localização e caracterização da área experimental

Os experimentos foram realizados na área experimental da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Extensão da Faculdade de Engenharia da UNESP- Campus de Ilha Solteira, localizada no município de Selvíria – MS (20°22’ de latitude Sul; 51°22’ de longitude Oeste, com altitude média de 335 m), no período de maio a agosto de 2021 e 2022. O clima, segundo classificação de Köppen, é do tipo tropical úmido (Aw), com estações bem definidas, chuvosa no verão e seca no inverno.

O solo da área de implantação é caracterizado como Latossolo Vermelho Distrófico de textura argilosa (EMBRAPA, 2018). Os experimentos foram montados em áreas diferentes, sendo as características químicas do solo analisadas por meio de análise do solo na camada de 0,0 a 20,00 cm por meio de amostras representativas da área. Conforme a análise do solo o teor de boro e zinco foram de 0,20 mg dm^3 e 4,9 mg dm^3 respectivamente, estando o solo com nível médio para boro e alto para zinco; no segundo ano os teores de boro e zinco foram de 0,28 e 0,6 mg dm^3, estando ambos em nível médio de concentração no solo (Tabela 1 e 2). As condições climáticas como temperatura e umidade, também foram monitoradas durante todo o período de condução dos experimentos (Figura 1).

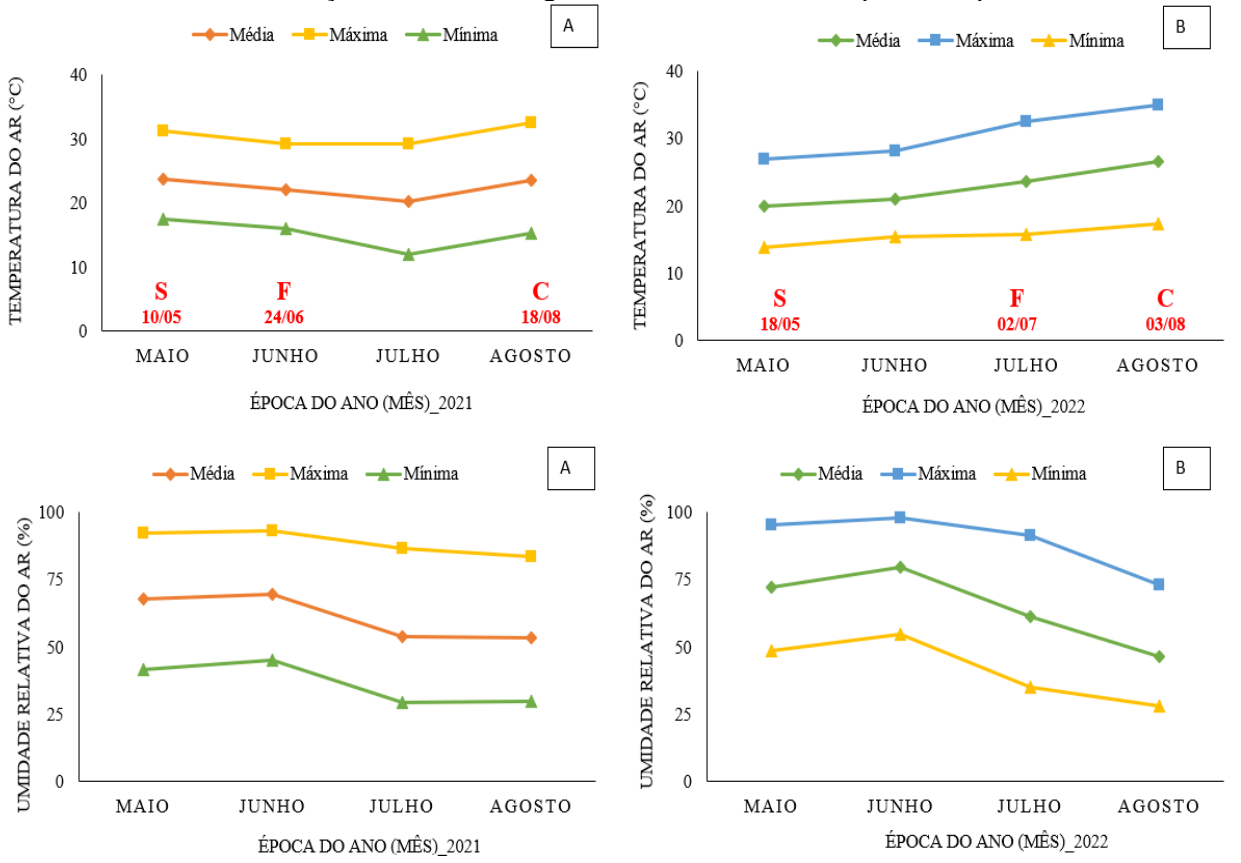
Tabela 1. Análise do solo da área experimental da fazenda da UNESP, Selvíria-MS, referente ao experimento de 2021. Ilha Solteira-SP, 2023.

pH	M.O	P-resina	K	Ca	Mg	H+Al	SB	Al
	g dm^{-3}	mg dm^{-3}	---------- $mmol_c$ dm^{-3} ----------					
5,4	22	33	2,9	31	16	22	49,9	0,0
V%	B	Cu	Fe	Mn	Zn	S SO_4^-	CTC	
			---------- mg dm^{-3} ----------					
69	0,40	2,1	42	6,4	4,9	3	71,9	

Tabela 2. Análise do solo da área experimental da fazenda da UNESP, Selvíria-MS, referente ao experimento de 2022. Ilha Solteira-SP, 2023.

pH	M.O	P-resina	K	Ca	Mg	H+Al	SB	Al
	g dm^{-3}	mg dm^{-3}			----------mmol$_c$ dm^{-3}----------			
5,3	18	29	2,9	18	15	28	35,9	0,0
V%	B	Cu	Fe	Mn	Zn	S SO_4^-	CTC	
			----------mg dm^{-3}----------					
56	0,28	1,8	26	16	0,6	6	63,9	

Figura 1. Condições meteorológicas de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) durante o período de condução do experimento no primeiro (2021) (A) e segundo ano (2022) (B). Ilha Solteira-SP, 2023. S= Semeadura, F= Florescimento e C= Colheita. Dados obtidos das estações meteorológicas do CLIMA FEIS (UNESP), Ilha Solteira-SP.



Fonte: Próprio autor.

3.2.2 Delineamento experimental

Os experimentos foram conduzidos no delineamento experimental em blocos casualizados, com 4 repetições, estando os tratamentos dispostos em um esquema fatorial 4 x 4, totalizando 16 tratamentos e 64 parcelas. Os tratamentos foram constituídos por aplicação foliar de quatro doses de Boro (B) (0; 50; 100 e 150 g ha^{-1}) e quatro doses de Zinco (Zn) (0; 100; 200 e 300 g ha^{-1}). Os tratamentos foram aplicados de forma isolada ou combinada, perfazendo assim os 16 tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3. Descrição dos tratamentos aplicados para pulverização foliar com boro e zinco.

TRATAMENTOS	DOSES DE BORO (B) e ZINCO (Zn)	
	---------- (g ha^{1}) ----------	
1	0 B	0 Zn
2	0 B	100 Zn
3	0 B	200 Zn
4	0 B	300 Zn
5	50 B	0 Zn
6	100 B	0 Zn
7	150 B	0 Zn
8	50 B	100 Zn
9	50 B	200 Zn
10	50 B	300 Zn
11	100 B	100 Zn
12	100 B	200 Zn
13	100 B	300 Zn
14	150 B	100 Zn
15	150 B	200 Zn
16	150 B	300 Zn

Fonte: Próprio autor.

O tratamento T1= controle consistiu na pulverização apenas com água sem micronutrientes.

3.2.3 Descrição dos materiais utilizados

Foram realizados dois experimentos, em dois anos de condução, sendo a cultura de interesse do estudo o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L). No primeiro ano de condução, em 2021, o experimento foi realizado buscando avaliar a resposta da cultivar IAC-1850 aos tratamentos aplicados. No segundo experimento (2022) foi avaliado a cultivar TAA DAMA-4. Os produtos utilizados para a aplicação foliar dos nutrientes estabelecidos como tratamentos consistiram no ácido bórico (H_3BO_3) e sulfato de zinco heptahidratado ($ZnSO_4.7H_2O$), ambos com 100% de pureza.

A cultivar IAC–1850 possui ciclo médio de 90 dias, com florescimento aos 45 dias, flor de cor branca, planta apresenta altura de 50 cm, com porte ereto, hábito de crescimento indeterminado tipo II, peso médio de mil sementes de 280 g, resistente ao acamamento e tolerância ao escurecimento do grão, resistente a antracnose, tolerante a fusarium, moderamente resistente à mancha angular, crestamento bacteriano, murcha de curtobaterium, pertencente ao grupo carioca. A cultivar TAA DAMA-4 também pertence ao grupo carioca, possui ciclo de 85 a 95 dias, diferentemente da anterior, tem porte prostado e hábito de crescimento indeterminado tipo III, altura de 50 cm, peso de mil sementes de 280 g. Com relação às doenças, é resistente a mosaico comum, suscetível a antracnose, moderadamente resistente a ferrugem, oídio e bacteriose.

3.2.4 Manejo e condução da cultura

Anteriormente ao experimento implantado em 2021, a cultura antecessora cultivada na área foi a da soja, enquanto para o experimento conduzido em 2022, a cultura antecessora presente na área foi a do milho, para ambos os anos, para as culturas citadas, o sistema de cultivo utilizado foi de semeadura direta.

A implantação do experimento com a cultivar IAC-1850 foi realizada no dia 10 de maio de 2021, no segundo ano com a cultivar TAA DAMA-4 a implantação ocorreu no dia

18 de maio de 2022, ambos por semeadura mecânica. No primeiro ano a condução dos experimentos foi realizada em quatro blocos designados por A, B, C e D e as parcelas experimentais foram constituídas de quatro linhas com 5 metros de comprimento, espaçadas em 0,45 m, enquanto no segundo ano foram seis linhas. Nos dois experimentos, as duas linhas centrais foram consideradas como pertencentes a área útil da parcela, desprezando-se 0,5 m de cada lado da extremidade das linhas.

Os tratos culturais foram semelhantes nos dois anos de cultivo, para as duas cultivares. Para implantação da cultura foram semeadas 13 sementes por metro linear, as quais foram tratadas com piraclostrobina, tiofanato metílico e fipronil, nas doses de 5, 45 e 50 g do ingrediente ativo para 100 kg de sementes. A área foi preparada mecanicamente com uma aração e duas gradagens. A adubação de semeadura constou de 250 kg ha^{-1} de NPK da fórmula 8-28-16. A adubação em cobertura foi realizada 20 dias após a emergência das plântulas, com uréia na dose 50 kg ha^{-1} de N. A cultura foi conduzida em sistema irrigado, sendo no primeiro ano o cultivo irrigado por sistema autopropelido, enquanto no segundo ano com sistema de pivô central, ambos com lâmina de 15 mm de água por turno de irrigação.

A aplicação dos tratamentos foi realizada via pulverização foliar dos micronutrientes no dia 08 de junho de 2021 e 14 de junho de 2022, quando as plantas estavam no estágio $V_{4-4,}$ quando cerca de 50% das plantas apresentavam quatro trifólios completamente abertos, com bomba costal, usando volume de calda de 200 L ha^{-1}.

O controle das plantas daninhas foi realizado por meio de herbicidas utilizando-se fomesafen (225g i.a. ha^{-1}) + fenoxaprope-P-etílico (77g i.a. ha^{-1}) aos 15 dias após emergência das plantas do feijoeiro. Para controle das pragas e doenças foram realizadas 4 pulverizações aos 15, 30, 45 e 60 dias após a emergência (DAE) das plantas, utilizando inseticida + fungicida nas seguintes formulações: A primeira (15 DAE) e terceira aplicação (45 DAE) foram realizadas com Metamidofos (0,5L p.c. ha^{-1}) + mancozeb (1,5 kg i.a. ha^{-1}), enquanto na segunda (30 DAE) e quarta (60 DAE) pulverização foram aplicados Acefato (970 i.a. ha^{-1}) + tiofanato metílico (350 i.a. ha^{-1})

3.2.5 Avaliação dos componentes de crescimento, produtividade e potencial fisiológico das sementes

As variáveis de estudo de crescimento e produtividade, foram as avaliações da altura de plantas (AP), altura de inserção da primeira vagem (AIPV), número de vagens por planta (VP), número de sementes por vagem (SV), número de sementes por planta (SP) e quantidade de vagens chochas (VC). Foram determinadas, também, a massa de sementes retida em diferentes peneiras (10, 11, 12, 13 e 14) (P), assim como a massa de mil sementes (MMS) e produtividade da cultura (PROD). Todas estas determinações foram realizadas após o procedimento de colheita realizada no dia 18 de agosto de 2021, 100 dias após a semeadura (DAS) para a cultivar IAC-1850 (_1) e no dia 03 de agosto de 2022 para a cultivar TAA DAMA-4 (_2), aos 77 DAS, de forma manual.

Para determinação da AP, AIPV, VP, SV, SP, VC, foram coletadas 5 plantas aleatórias das linhas centrais das parcelas. A altura de plantas (cm) foi mensurada com auxílio de fita métrica, sendo realizada a medição da base da planta até o ápice da haste principal. Para a inserção da primeira vagem (cm), foi realizada da mesma forma, sendo considerada a mensuração da base da planta com direção a localização da primeira vagem emitida na planta. A determinação de vagens por planta, foi realizada por meio de contagem manual, as quais foram retiradas da planta com objeto cortante e em seguida contabilizadas.

O número de sementes por planta e por vagens foram obtidas após a debulha. Todas as sementes resultantes de cada planta por repetição foram contabilizadas e posteriormente procedeu-se o cálculo para verificação da relação média de sementes por vagens. As sementes de feijão para as duas cultivares foram passadas em peneiras com furos oblongos, com a finalidade de analisar a classificação do tamanho das sementes para cada genótipo em função dos tratamentos aplicados. A determinação da massa de sementes retidas em cada peneira, para a cultivar IAC-1850, foi realizada colocando o total das sementes provenientes da colheita sobre as peneiras em ordem decrescente de número 16 (16/64" pol.), 15 (15/64" pol.), 14 (14/64" pol.), 13 (13/64" pol.), 12 (12/64" pol.) e 11 (11/64" pol.) e 11 (10/64" pol.).

A determinação das sementes retidas foi realizada pela pesagem das sementes que ficaram alocadas em cada numeração, obtendo a massa em g, posteriormente os dados foram convertidos para porcentagem. Em complemento, para a determinação da cultivar TAA DAMA-4, foi determinada uma amostra de 200 g de cada repetição dos tratamentos, a amostra foi submetida a passagem pelas peneiras, a quantidade retida foi pesada, e posteriormente convertida para porcentagem de sementes retidas. Para as duas cultivares, não houve sementes retidas nas peneiras de tamanho 16 e 15, dessa forma, os dados foram analisados apenas para as peneiras 14, 13, 12, 11 e 10.

Para determinação da produtividade foram coletadas para a cultivar IAC-1850, as plantas de 2 m de duas linhas por parcela. No entanto, para no experimento com a cultivar TAA DAMA-4 foram coletados 3 m de duas linhas por parcela. Após a retirada das plantas do campo, estas foram adicionadas em sacos de polipropileno trançado para secagem a pleno sol por alguns dias para obtenção da umidade adequada. Posteriormente, realizou-se a debulha das sementes das vagens com auxílio de trator, o qual passou sobre os sacos que continham as plantas secas. Após a debulha mecânica das plantas, as sementes passaram por limpeza para retirada de impurezas e sujidades com auxílio de peneira e ventilação e acondicionadas em sacos de papel. Em seguida realizou-se a determinação do grau de umidade das sementes (%), a massa de 1000 sementes (g) e determinação da produtividade (kg ha^{-1})

A determinação do grau de umidade das sementes, foi realizado pelo método de elevada temperatura. Foi inicialmente, pesada as sementes para obtenção de uma amostra entre 4 a 5 gramas com duas repetições por tratamento e acondicionadas em recipientes de metal, devidamente identificados. Os recipientes foram colocados em estufa de circulação forçada de ar a 105 °C, por um período de 24 horas (BRASIL, 2009). Transcorrido o período de secagem, os recipientes foram retirados, deixados para resfriamento e logo após foi realizado a pesagem das sementes para obtenção do grau da umidade.

A massa de mil sementes foi obtida por meio da pesagem de oito repetições de 100 sementes de cada tratamento, as quais foram inicialmente contadas manualmente, separadas e pesadas em balança analítica. A produtividade das cultivares foi estimada de acordo com as sementes provenientes da colheita das linhas centrais das parcelas,

corrigindo-se a umidade para 13% (base úmida) e a média dos valores extrapolada para kg ha^{-1}.

Em uma segunda etapa de análises, foram avaliadas o potencial fisiológico das sementes de feijão para cada cultivar. As análises laboratoriais foram realizadas na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Unidade Universitária de Cassilândia-MS. As variáveis analisadas consistiram na primeira contagem de germinação (PC), teste de germinação de sementes (GER), emergência de plântulas (EMER), índice de velocidade de emergência (IVE), tempo médio de emergência (TME), condutividade elétrica (COND) e envelhecimento acelerado (ENV). A determinação destas variáveis foram realizadas da seguinte forma:

Primeira contagem de germinação e teste de germinação: Foram realizados em quatro subamostra de 50 sementes por tratamento, usando três folhas de papel germitest como substrato, umedecidas com água na proporção de 2,5 vezes a massa seca do papel, os rolos foram levados para câmara de germinação a 25 ºC e fotoperíodo de 12 h. As avaliações foram realizadas aos cinco dias (primeira contagem) e aos nove dias (teste de germinação), de acordo com Brasil (2009).

Teste de Condutividade Elétrica - Para avaliação da condutividade elétrica da solução de embebição das sementes, foi realizado por meio de quatro repetições de 25 sementes por tratamento, sendo pesadas e colocadas para embeber em um recipiente contendo 75 mL de água deionizada (≤ 3-5 µS cm^{-1} de condutividade), e então mantida em uma câmara de germinação à temperatura de 25°C durante 24 horas. Os resultados são expressos em µS $cm^{-1}g^{-1}$ de sementes (MIGUEL; MARCOS FILHO, 2002).

Teste de envelhecimento acelerado - Foram utilizadas caixas tipo “gerbox”, como compartimento individual (minicâmara), possuindo em seu interior uma bandeja com tela de alumínio, onde 120 sementes foram distribuídas de maneira a formarem camada uniforme. Dentro de cada compartimento individual foram adicionados 40 mL de água destilada; as caixas foram mantidas em câmara de germinação, à temperatura de 41ºC pelo período de 72 horas. Transcorrido o período de envelhecimento, foram montados o teste de germinação, com 4 repetições de 50 sementes por tratamento, para realizar a análise aos 5 dias, de acordo com Brasil (2009). Foram utilizadas 20 sementes para determinação do grau de umidade a elevada temperatura (105 °C).

Emergência de plântulas – O teste de emergência foi realizado em canteiros de alvenaria, sendo 80% do volume inferior preenchido com solo compactado, e os outros 20% preenchidos com areia grossa. Foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes por tratamento, com semeadura realizada a dois centímetros de profundidade, foi feita a contagem diária das plântulas emergidas até sua estabilidade. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas emergida.

Índice de velocidade de emergência (IVE) – Foi conduzido juntamente com o teste de emergência de plântulas, conforme a fórmula definida por Maguire (1962):

$$IVE= E1/N1 + E2/N2 + ... + En/Nn.$$

Onde:

- E1: plântulas emergidas a cada dia;
- N1: Tempo em dias de semeadura;

Tempo médio de emergência (TME) - Foi conduzido juntamente com o teste de emergência de plântulas (LABOURIAU, 1983):

$$TME= (\Sigma Ni\ Ti)/\Sigma Ni)$$

Onde:

- Ni: é o número de plântulas emergidas por dia
- Ti: é o tempo entre o início do experimento e a avaliação (dia).

3.2.6 Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F) e, as diferenças entre os tratamentos, no caso os efeitos das doses de boro e zinco foram avaliados pela análise de regressão (BANZATTO; KRONKA, 2006). As análises foram realizadas utilizando-se o software estatístico Sisvar versão 5.3 para Windows (Software de Análises Estatísticas, UFLA, Lavras, MG, BRA) (FERREIRA, 2010).

Para avaliar as variáveis correspondentes a retenção de sementes nas diferentes peneiras, foi utilizada a análise multivariada de componentes principais. Esta análise proporciona obter combinações de um grupo de variáveis de estudo que estão correlacionadas. A partir da dispersão dos escores dos componentes principais é possível determinar a similaridade ou discrepância entre os tratamentos e alocá-los em

grupos diferentes, sendo os semelhantes entre si agrupados em um mesmo grupo, enquanto os que são heterogêneos são agrupados em grupo distinto (FERREIRA, 2008; MINGOTI, 2008; LOBÃO *et al*., 2010).

Para complementar as análises de variância e teste de regressão, os dados agronômicos foram submetidos à análise de determinação da correlação de Pearson $|r_{ij}|$ através de rede de correlações entre as variáveis de estudo (doses de boro e zinco). As quais foram determinadas da seguinte forma, correlações positivas foram destacadas pela cor verde, enquanto as correlações negativas com cor vermelha, a determinação da espessura das linhas seguiu o valor de corte de 0,7, correspondendo a 70% de confiabilidade, assim, apenas correlações com médias acima do valor considerado foram destacadas. Todas as análises foram realizadas com o *software* R versão (v.4.0.3), por meio dos pacotes ggfortify e factoextra para componentes principais, qgraph para rede de correlações e candisc para variáveis canônicas (R CORE TEAM, 2022).

A análise multivariada de variáveis canônicas, também foi realizada para avaliar os resultados obtidos, com o propósito de melhor ilustrar e verificar a concordância dos resultados obtidos, possibilitando interpretação mais fidedigna aos resultados.

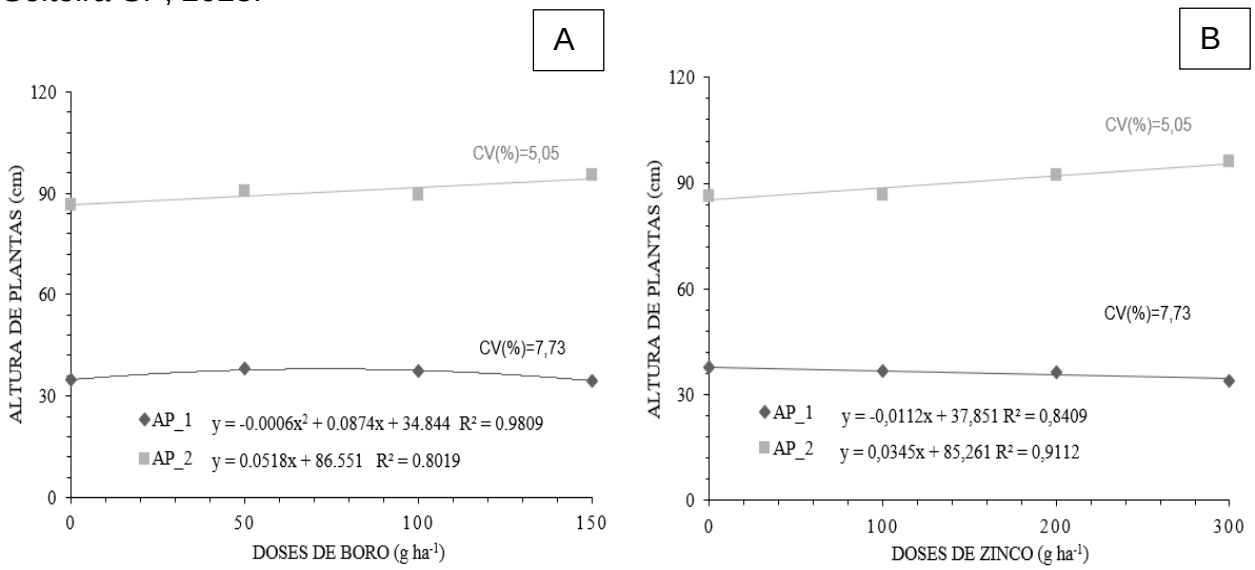
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados obtidos para as variáveis de crescimento e produtividade, AP, AIPV, VP, GV, GP, VC e MMG foram obtidas diferenças significativas para as doses de boro (B) e zinco (Zn) de forma isolada, sendo apresentado interação entre as doses de BxZn apenas para a variável de produtividade. Foram observadas médias diferentes para a altura de plantas em função da diferença entre cultivares utilizadas no primeiro (IAC-1850) e segundo ano (TAA DAMA 4).

A altura de plantas da cultivar IAC-1850 (AP_1) foi afetada significativamente pelas diferentes doses de boro, obtendo-se ajuste quadrático com ponto de máxima correspondente a 72,8 g ha^{-1} de boro para atingir altura de 38,02 cm. Enquanto para a cultivar TAA DAMA-4, houve ajuste linear crescente para a altura de plantas (AP_2) com o aumento das doses de boro (Figura 2A). Com relação a doses de zinco, tanto para a AP_1 como AP_2, houve ajuste a regressão linear. Para a AP da cultivar IAC-1850 (AP_1)

com o aumento das doses de zinco, as plantas apresentaram menor altura, enquanto para a cultivar TAA DAMA-4 (AP_2) conforme houve aumento das doses, as plantas apresentaram maior altura (Figura 2B). Desse modo, os resultados evidenciaram respostas diferentes ao zinco de acordo com o genótipo da cultura estudada.

Figura 2. Altura de plantas do feijoeiro (cm) da cultivar IAC-1850 (AP_1) e cultivar TAA DAMA-4 (AP_2), em função das doses de boro (A) e zinco (B) via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2023.

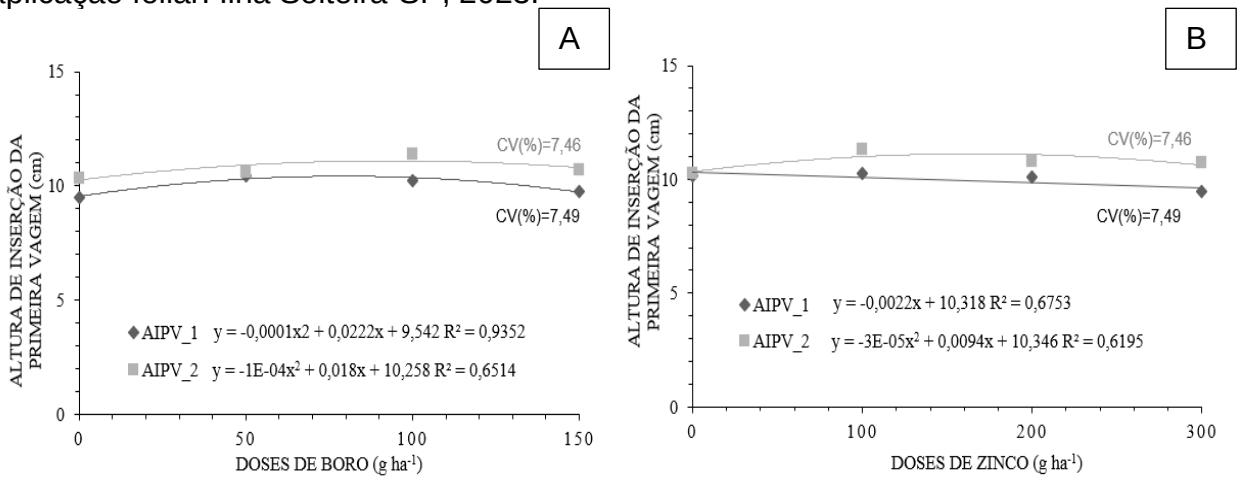


Fonte: Próprio autor.

Para a cultivar TAA DAMA-4 a adubação com B e Zn incrementou a altura de plantas. O seu efeito justifica-se pela atuação do boro no alongamento celular, enquanto o zinco por estar relacionado a ativação de enzimas, metabolismo de fitormônios, biossíntese de clorofila, também estimula o crescimento vegetal (BUZETTI *et al*., 2015; TAIZ *et al*., 2017). O emprego de sulfato de zinco realizado com aplicação no feijoeiro, aumenta a biomassa das plantas, por estimular o crescimento morfológico, como altura de plantas (PONCE-GARCIA *et al*., 2019; PÉREZ-ALVAREZ *et al*., 2017). Resultados positivos de boro no crescimento foram observados para o feijão verde, com a aplicação foliar de 100 mg L^{-1} de B, no cultivo em vasos em ambiente protegido (HUSSEIN; ALI, 2021).

Com relação a variável altura de inserção da primeira vagem (AIPV) para as doses de boro, tanto no primeiro como no segundo ano de condução, houve ajuste a regressão quadrática. Para a AIPV_1, a dose ótima consistiu em 111 g ha^{-1} de B, correspondendo a altura máxima de 10,77 cm. No caso da variável AIPV_2 o ponto de máxima foi de 90 g ha^{-1} de B, responsável por atingir a altura de primeira vagem de 11,06 cm (Figura 3A).

Figura 3. Altura de inserção da primeira vagem (cm) do feijoeiro para a cultivar IAC-1850 (AIPV_1) e TAA DAMA-4 (AIPV_2), em função das doses de boro (A) e zinco (B) via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2023.



Fonte: Próprio autor.

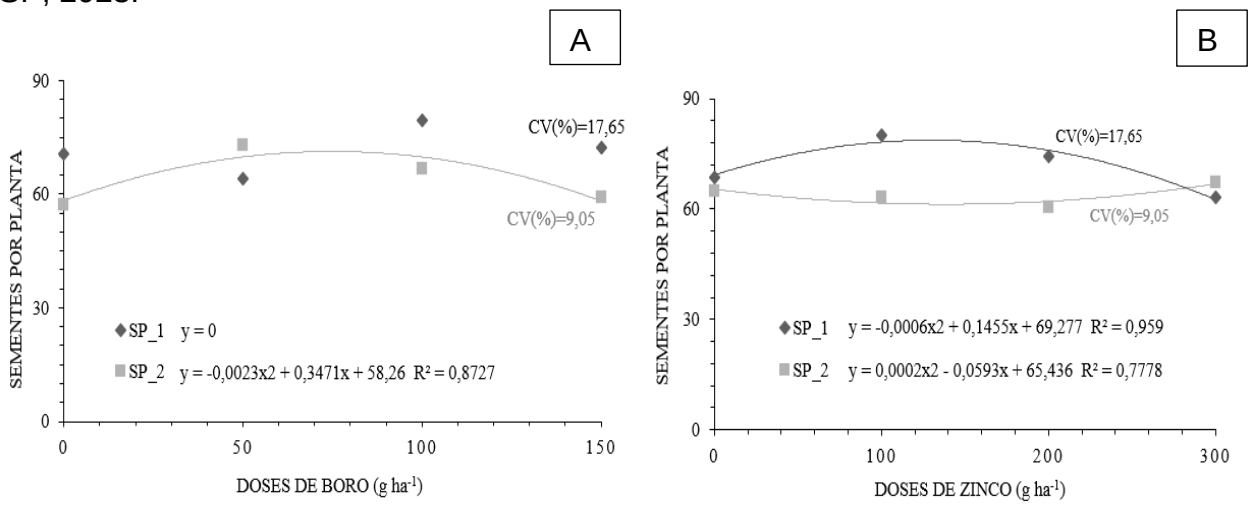
Para a variável AIPV_2, as doses de zinco também apresentaram ajuste a regressão quadrática, sendo o ponto de máxima atingido com a dose de 156,66 g ha^{-1} de Zn, o que possibilita as plantas emitirem a primeira vagem a partir de 11,08 cm de altura. A AIPV_1 ajustou-se de modo linear, conforme houve aumento das doses de zinco empregadas tem-se redução na altura, podendo chegar a menos de 10 cm (Figura 3B). Comportamentos diferentes para as duas cultivares, para a adubação com zinco foram observados, sendo que este efeito pode estar relacionado com o genótipo (KACHINSKI *et al*., 2020).

Para a cultivar TAA DAMA-4 é possível observar que a aplicação de zinco favoreceu maior altura de primeira vagem, característica interessante para favorecer a colheita mecanizada. O ponto de máxima foi atingido com a dose de 156,66 g ha^{-1} de Zn,

mas verifica-se que para quantidade de vagens e sementes houve ponto de mínimo. Kachinski *et al*. (2020) também observaram efeito de maior altura de vagem para a cultivar BRS Esteio, contudo descrevem que a aplicação foliar de Zn ocasionou redução de produtividade. Ressaltaram que, o resultado foi devido ao abortamento de flores e/ou vagens na parte no terço inferior. Este efeito pode ter relação com os dados obtidos no presente estudo.

Para a variável de sementes por planta da cultivar IAC-1850 (SP_1), não houve diferença entre as doses aplicadas, sem ajuste a regressão para as doses de boro. Já a cultivar TAA DAMA-4 (SP_2), apresentou ajuste a regressão quadrática com maior produção obtida com a dose de 75,45 g ha^{-1} de B, atingindo cerca de 71 sementes por planta (Figura 4A). Quanto as doses de zinco houve ajuste para variável SP_1, com ponto de máxima, nesse caso, a dose ótima é de 121,25 g ha^{-1} de Zn, para produzir uma média de 78 sementes por planta, enquanto para SP_2 ocorreu ponto de mínimo com a dose de 147,5 g ha^{-1} de Zn (Figura 4B).

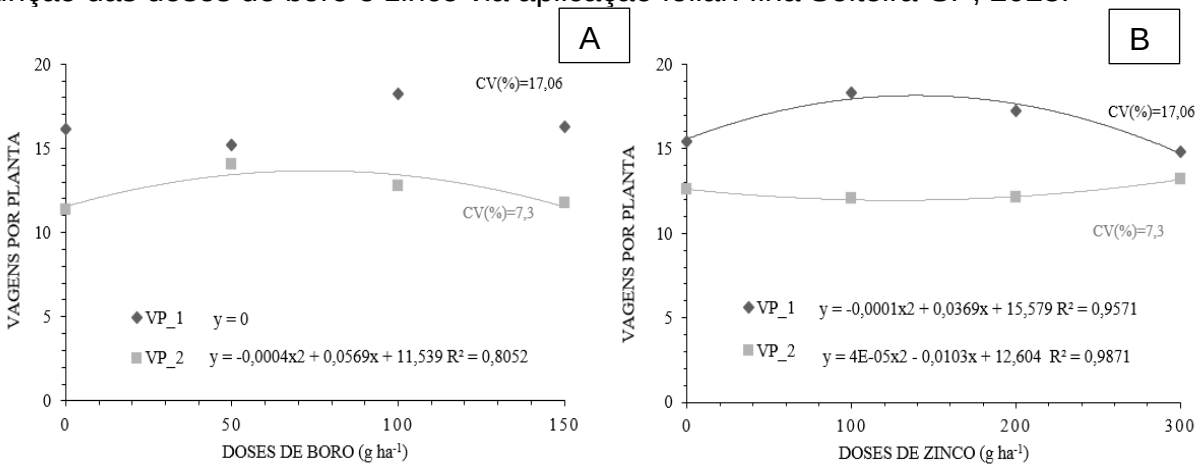
Figura 4. Sementes por planta do feijoeiro da cultivar IAC-1850 (SP_1) e TAA DAMA-4 (SP_2), em função das doses de boro (A) e zinco (B) via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2023.



Fonte: Próprio autor.

Comportamento semelhante aos resultados de sementes por planta foram observados para vagens por planta (VP). Para as doses de boro, apenas a variável VP_2 apresentou diferença entre os tratamentos, com ajuste a regressão quadrática, com dose ótima correspondente a 71,12 g ha^{-1} de B para produção de 13,56 vagens por planta (Figura 5A). Já para as doses de zinco, para VP_1 houve ajuste quadrático com ponto de máxima de 184,5 g ha^{-1} de Zn para atingir produção de 19 vagens por planta (Figura 5B).

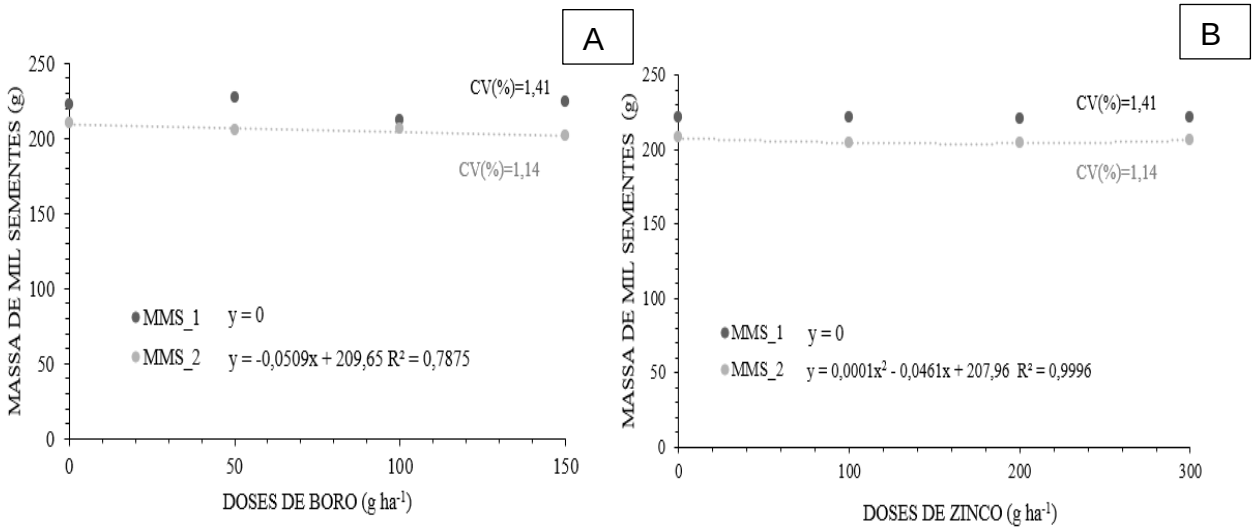
Figura 5. Vagens por planta da cultivar IAC-1850 (VP_1) e TAA DAMA-4 (VP_2), em função das doses de boro e zinco via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2023.



Fonte: Próprio autor.

Quanto a variável massa de mil sementes da cultivar IAC-1850 (MMS_1), não houve diferença em relação as doses aplicadas, tanto para as doses de boro quanto doses de zinco. A cultivar TAA DAMA-4 apresentou ajuste a regressão linear negativa para MMS_2 para doses de boro, com redução da massa, conforme o aumento das doses aplicadas. Já para o zinco, houve ajuste a regressão quadrática, com ponto de mínima, sendo que na dose de 230,5 kg ha^{-1} ocorre menor massa de sementes, equivalente a 202,67 g (Figura 6A e 6B).

Figura 6. Massa de mil sementes (g) da cultivar IAC-1850 (MMS_1) e TAA DAMA-4 (MMS_2), em função das doses de boro (A) e zinco (B) via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2023.

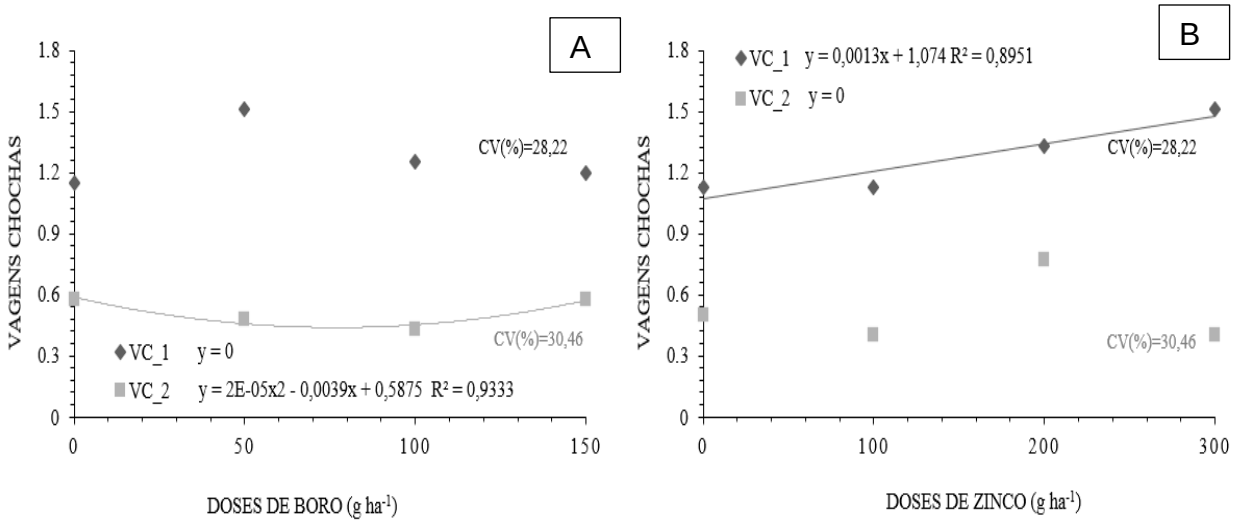


Fonte: Próprio autor.

Observa-se que, para a cultivar no primeiro ano, não houve influência da adubação foliar de boro sobre a massa de mil sementes, contudo no segundo ano o emprego de maiores doses de B ocasionou menor MMS. Resultados divergentes com os obtidos por Santana *et al*. (2020) para feijoeiro, que observaram maior massa, contudo estes autores relacionam que o uso de boro pode causar toxidade em doses excessivas. Possivelmente a redução da massa na presente condição de estudo, pode ter sido promovida pela condição adequada do solo e a adubação foliar ter causado fitotoxidade.

Os resultados obtidos para as vagens chochas, referente as doses de boro, demonstraram que, para VC_1 não houve ajuste a regressão. A VC_2 apresentou ajuste quadrático, com ponto de mínimo, nesse caso, a dose de 97,5 g ha^{-1} de B corresponde a dose que proporciona menor desenvolvimento de vagens chochas (Figura 7A). Para as doses de zinco, a variável VC_2 não apresentou ajuste a regressão, enquanto para a VC_1, com o aumento das doses de Zn houve tendência ao aumento linear de vagens chochas produzidas (Figura 7B).

Figura 7. Vagens chochas por planta de feijão da cultivar IAC-1850 (VC_1) e TAA DAMA-4 (VC_2), em função das doses de boro (A) e zinco (B) via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2023.

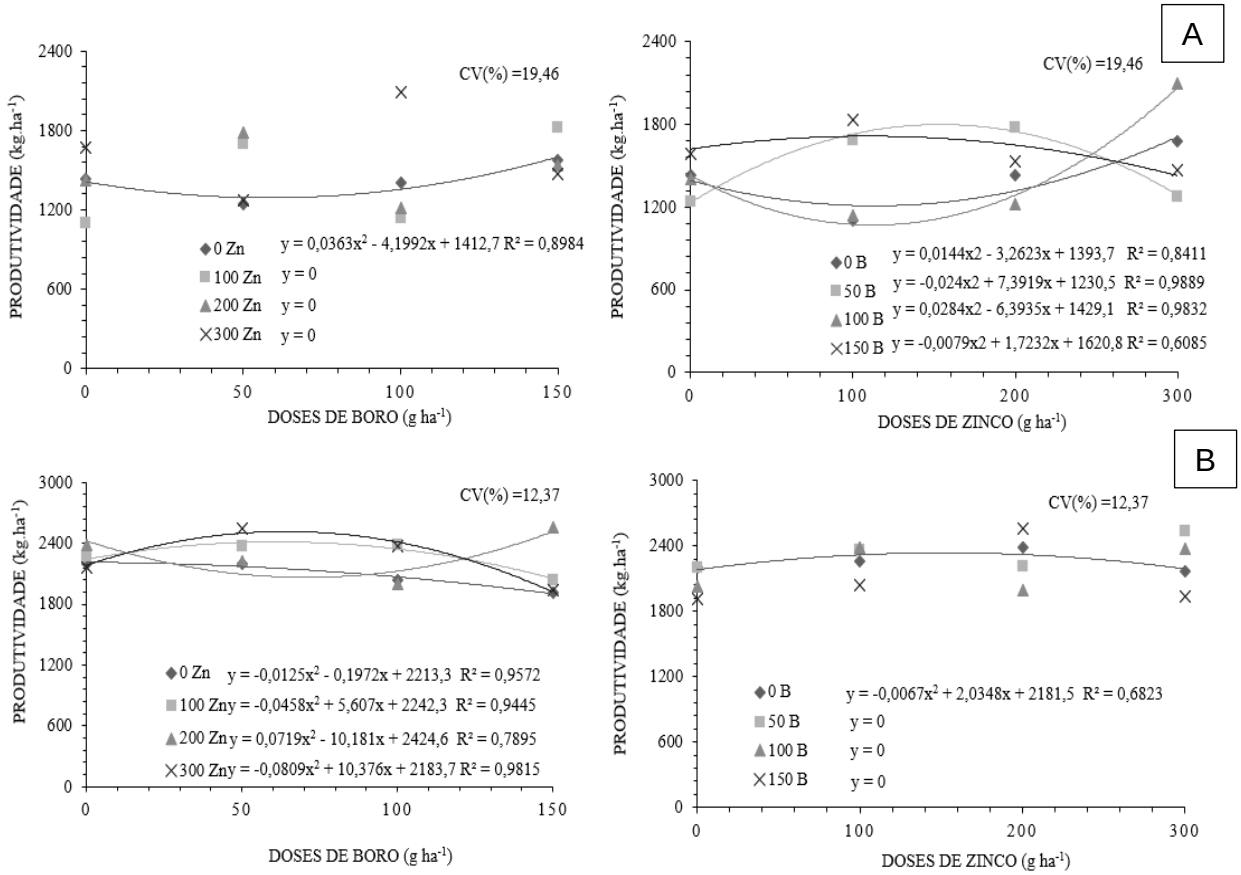


Fonte: Próprio autor.

Para a variável produtividade, houve interação entre as doses de Zn e B aplicados via foliar na cultura. De acordo com o desdobramento das doses de B dentro de cada nível de Zn, para a variável PROD_1, observou-se para as doses de 100, 200 e 300 g ha^{-1} de Zn que não houveram ajustes de regressão, enquanto para a dose de 0 g ha^{-1} de Zn houve ajuste a regressão quadrática, com ponto de mínimo. Assim, a aplicação isolada de 57,8 g ha^{-1} de B pode promover baixa produtividade a cultivar IAC-1850 (Figura 8_A).

No desdobramento das doses de Zn dentro de cada nível das doses de B, houve ajuste quadrático para todas as doses de boro aplicadas (Figura 8_A). Para as doses de 0 e 100 g ha^{-1} de B os ajustes ocorreram com ponto de mínimo, enquanto para as doses de 50 e 150 houveram ajustes com ponto de máximo. Na dose de 50 g ha^{-1} de B o ponto máximo, ou seja, a dose ótima, correspondeu a 153,9 g ha^{-1} de Zn, para uma produtividade equivalente a 1799,66 kg ha^{-1}. Para a dose de 150 g ha^{-1} de B, a aplicação conjunta com 109,06 g ha^{-1} de Zn proporciona uma produção máxima de 1714,76 kg ha^{-1}.

Figura 8. Desdobramento da interação entre as doses de boro e zinco para a produtividade do feijoeiro da cultivar IAC-1850 (PROD_1_A) e TAA DAMA-4 (PROD_2_B), em função das doses de boro e zinco via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2023.



Fonte: Próprio autor.

Com relação as variáveis VP e SP da cultivar IAC-1850 observa-se que o zinco favoreceu uma maior produção, mas não influenciou a massa de mil sementes, no caso, variável determinada principalmente pelo genótipo da cultivar. Diante destes resultados, podemos inferir que a maior produtividade observada deve-se pela maior produção de vagens e sementes, devido a capacidade do Zn em atuar na metabolização de proteínas e carboidratos, lipídios e ácidos nucléicos (COZZOLINO, 2009). Dessa forma, a disponibilidade do nutriente pode ter favorecido maior translocação de componentes essenciais para formação de vagens e enchimento de grãos, aumentando a produtividade.

A produtividade do feijoeiro no segundo ano de produção PROD_2, apresentou conforme o desdobramento das doses de B dentro de cada nível de Zn, ajuste a regressão quadrática em todas as doses, sendo que apenas para a dose de 200 g ha^{-1} de Zn houve ponto de mínimo. Para a dose 0 g ha^{-1} de Zn, a dose de B para produtividade máxima seria correspondente a 7,88 g ha^{-1}, para produtividade equivalente a 2210,97 kg ha^{-1}. Na dose de 100 g ha^{-1} de Zn, a dose ótima consiste em 61,21 g ha^{-1} de B para produtividade de 2413,90 kg ha^{-1}, contudo a maior produtividade é demonstrada com a associação de 300 g ha^{-1} de Zn com 64,12 g ha^{-1} de B, para produtividade estimada em 2516,39 kg ha^{-1} (Figura 8_B). Quanto ao desdobramento das doses de Zn dentro de cada nível das doses de B, apenas a dose de 0 g ha^{-1} de B apresentou ajuste a regressão, com ponto máximo de 151,85 g ha^{-1} de Zn para produtividade estimada de 2335,99 kg ha^{-1}.

A atuação dos micronutrientes B e Zn de forma associada nas diferentes rotas metabólicas das plantas favoreceram a maior produtividade da cultura, uma vez que, o B atua em funções como armazenamento de energia ou integridade estrutural. Assim como tem papel na síntese de ácidos nucleicos, enquanto o zinco exerce ação sobre a atividade de enzimas e biossíntese da clorofila (TAIZ *et al*., 2017). O aumento dessas atividades bioquímicas, promovidas pela ação dos micronutrientes, incrementou a produção de sementes e vagens, resultando na maior produtividade.

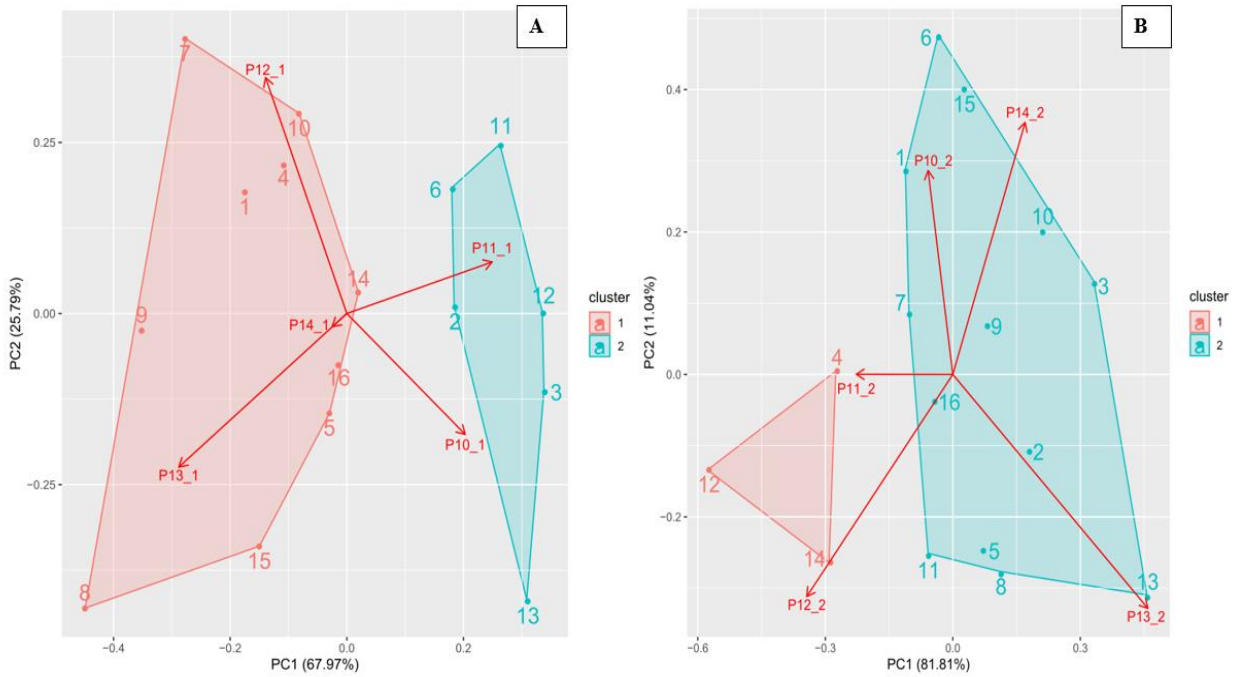
Resultados obtidos por Tabesh *et al*. (2020) também demonstraram que a aplicação foliar com zinco, promoveu maior produtividade, assim como maior concentração do nutriente nos grãos de feijão. A adubação foliar com Zn também foi eficiente para a produtividade de sementes de feijão da cultivar IPR Campos Gerais na dose de 600 g ha^{-1}, contudo não foi eficiente para BRS Esteio, Kachinski *et al*. (2020) relacionam a diferença em função da variação genotípica que ocorre entre cultivares de feijão. Flores *et al*. (2017) e Dantas (2021) também enfatizam o benefício do B e Zn para produtividade do feijoeiro.

Para verificar o efeito dos tratamentos sobre a retenção de sementes nos crivos das peneiras, foi realizada a análise de componentes principais (Figura 9). Para os dois anos os tratamentos foram agrupados em dois grupos por semelhança. Na análise de sementes no primeiro ano, os grãos retidos nas peneiras de tamanho 10 e 11 (P10_1 e

P11_1), ou seja, as de menor tamanho, ficaram agrupadas nos tratamentos 2= 0 B + 100 Zn, 3= 0 B + 200 Zn, 6= 50 B + 100 Zn, 11= 100 B + 200 Zn, 12= 100 B + 300 Zn e 13= 150 B + 0 Zn g ha^{-1}, sendo para as peneiras de tamanho 12, 13 e 14 agrupados nos demais tratamentos (Figura 9_A).

No segundo ano, as sementes provenientes das peneiras de tamanho 11 e 12 ficaram em grupo semelhante, sendo este constituído pelos tratamentos 4= 0 B + 300 Zn, 12= 100 B + 300 Zn, 14= 150 B + 100 Zn g ha^{-1}. Os demais tratamentos, que apresentaram maior quantidade de sementes nas peneira 13 e 14, também tiveram maior quantidade de sementes de peneira 10 (Figura 9_B).

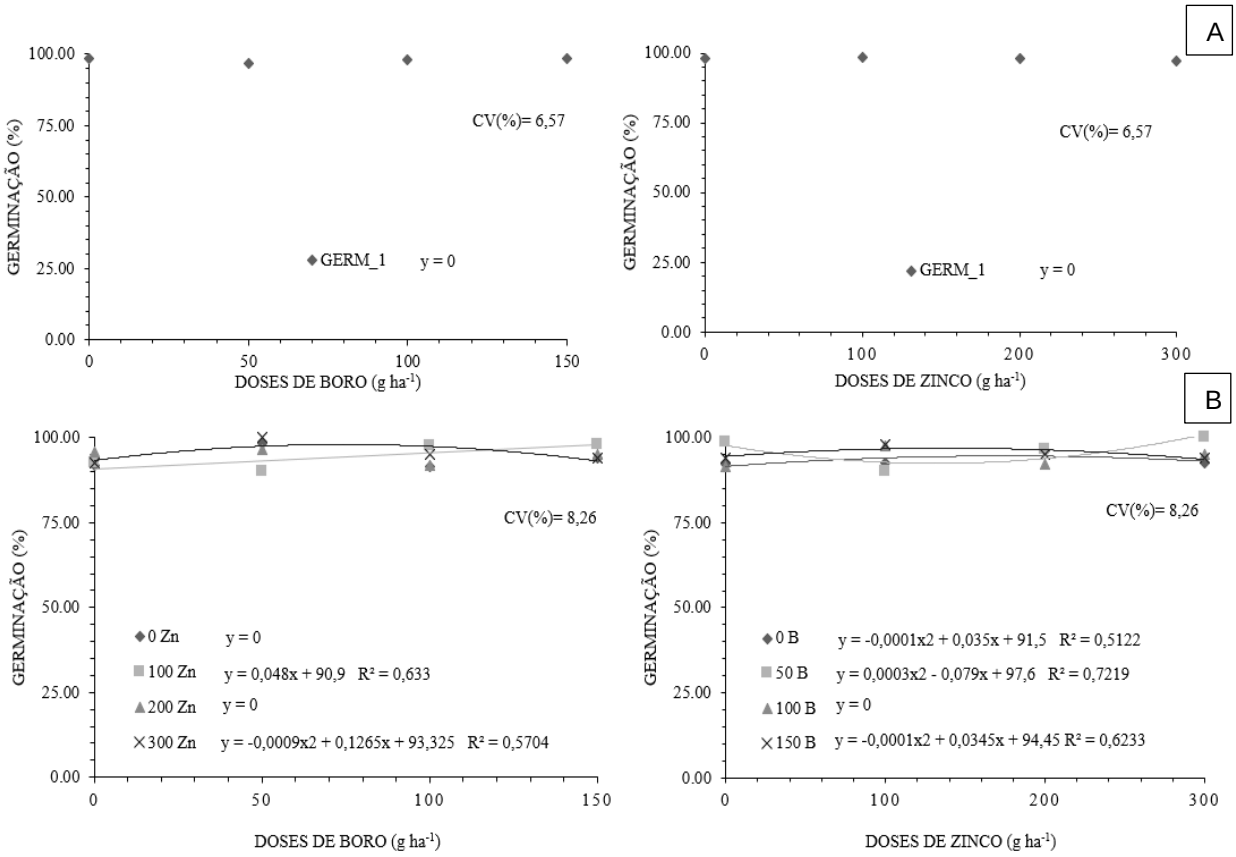
Figura 9. Diagrama de ordenação por análise de componentes principais para a variável de peneiras (P10, P11, P12, P13 e P14), para a cultivar IAC-1850 (A) e TAA-DAMA 4 (B). Ilha Solteira-SP, 2023. Tratamentos (T): T1= testemunha, T2= 0 B + 100 Zn, T3= 0 B + 200 Zn, T4= 0 B + 300 Zn, T5= 50 B + 0 Zn, T6= 50 B + 100 Zn, T7= 50 B + 200 Zn, T8= 50 B + 300 Zn, T9= 100 B + 0 Zn, T10= 100 B + 100 Zn, T11= 100 B + 200 Zn, T12= 100 B + 300 Zn, T13= 150 B + 0 Zn, T14= 150 B + 100 Zn, T15= 150 B + 200 Zn, T16= 150 B + 300 Zn, em g $há^{-1}$.



Fonte: Próprio autor.

Com relação a qualidade fisiológica das sementes obtidas, para a germinação de sementes da cultivar IAC-1850, não houve efeito dos tratamentos aplicados, não tendo diferença significativa para boro e zinco, assim como não houve interação dos fatores (Figura 10A).

Figura 10. Germinação de sementes da cultivar IAC-1850 (GERM_1) em função das doses de boro e zinco (A) e desdobramento entre as doses de boro e zinco para a germinação de sementes para a cultivar TAA DAMA-4 (GERM_2), em função das doses de boro e zinco via aplicação foliar (B). Ilha Solteira-SP, 2023.



Fonte: Próprio autor.

Para a cultivar TAA DAMA-4, houve interação significativa entre boro e zinco, no desdobramento das doses de B dentro de cada nível de Zn, observou-se que para 0 e 200 g ha^{-1} de Zn não houve ajuste de regressão, enquanto para a dose 100 g ha^{-1} de Zn há aumento linear na porcentagem de germinação com o aumento das doses de boro. Com a dose de 300 g ha^{-1} de Zn, verificou-se ajuste quadrático, que indica que a dose

ótima para associar corresponde a 70 g ha^{-1} de B, para atingir 97% de germinação (Figura 10B).

O desdobramento das doses de Zn dentro de cada nível das doses de B, demonstraram que para a dose de 100 g ha^{-1} de B não houve ajuste. Apenas as doses de 0 e 150 apresentaram ajuste quadrático com ponto de máximo, sendo que na dose de 0 g ha^{-1} de B o ponto de máxima corresponde a 94,56 g ha^{-1} de Zn, enquanto para a dose de 150 g ha^{-1} de B a dose ótima de zinco seria de 172,5 g ha^{-1} para atingir 97% de germinação (Figura 10B).

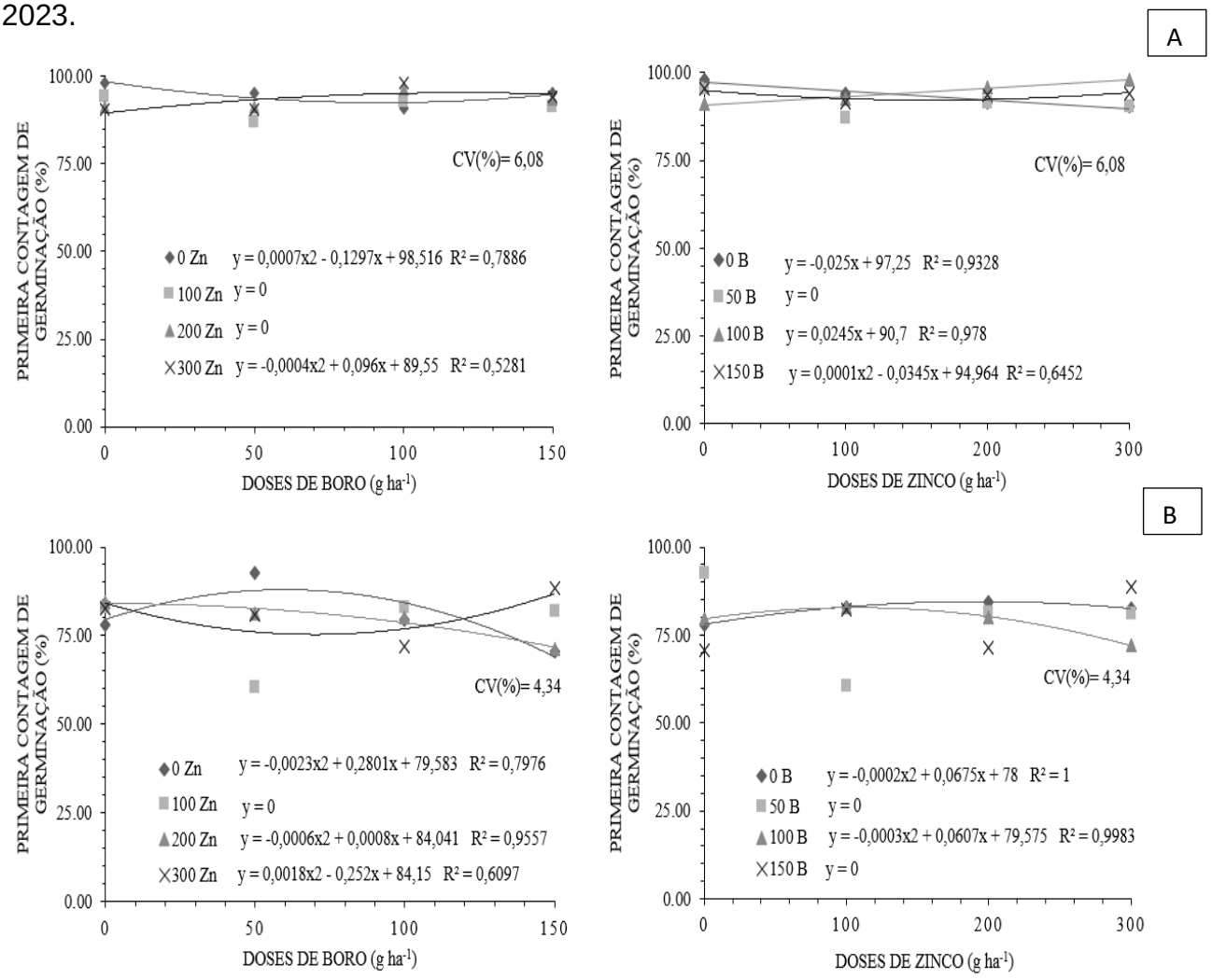
O fornecimento de boro, de acordo com Gomes *et al*. (2020) influenciam de forma positiva a qualidade fisiológica das sementes, como germinação, primeira contagem de germinação e envelhecimento acelerado para cultivares de soja. Incremento na qualidade de sementes de soja, também foram obtidas, quando pulverizados via foliar Calcio e Boro, que promoveu maior germinação, contudo Domingos *et al*. (2021) ressaltam que os resultados podem variar com o local de produção, devido a fertilidade do solo e características climáticas. Como observado na presente condição de estudo, na área de primeiro com teor de 0,40 mg/dm^3 de Boro não houve ajuste com a aplicação foliar, enquanto para a área do segundo com 0,28 mg/dm^3, ocorreu incremento na germinação em função das doses utilizadas.

Na avaliação do vigor das sementes, para a variável de primeira contagem de germinação houve interação entre os fatores para os dois ensaios realizados. De acordo com as médias obtidas, observa-se diferenças entre as duas cultivares. A cultivar IAC-1850 apresentou maior potencial de germinação aos 5 dias do que a cultivar TAA DAMA-4, relação justifica-se principalmente pela característica genética das variedades, uma vez que as condições para realização dos testes são homogêneas em ambientes controlados. A PC_1 no desdobramento das doses de boro apresentou ajuste a regressão quadrática na dose de 300 g ha^{-1} de Zn, sendo o ponto de máxima de 120 g ha^{-1} de B, com germinação de 95% das sementes, contudo para o desdobramento das doses de zinco não houve ajuste a regressão quadrática com ponto de máxima (Figura 11_A).

Os resultados para PC_2 para o desdobramento das doses de boro dentro de cada nível de Zn apresentaram ajuste quadrático. Na dose de 0 g ha^{-1} de Zn a dose ótima

corresponde a 60,89 g ha^{-1} de B e para 200 g ha^{-1} de Zn cerca de 0,66 g ha^{-1} de B, sendo que a associação de 0 g ha^{-1} de Zn + 60,89 g ha^{-1} de B promove maior porcentagem estimada. Para o desdobramento de zinco, na dose de 0 g ha^{-1} de B e 100 g ha^{-1} de B, os pontos de máxima são 168,75 e 101,16 g ha^{-1} de Zn, respectivamente (Figura 11_B).

Figura 11. Desdobramento entre as doses de boro e zinco para a primeira contagem de germinação de sementes da cultivar IAC-1850 (PC_1_A) e da cultivar TAA DAMA-4 (PC_2_B), em função das doses de boro e zinco via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2023.



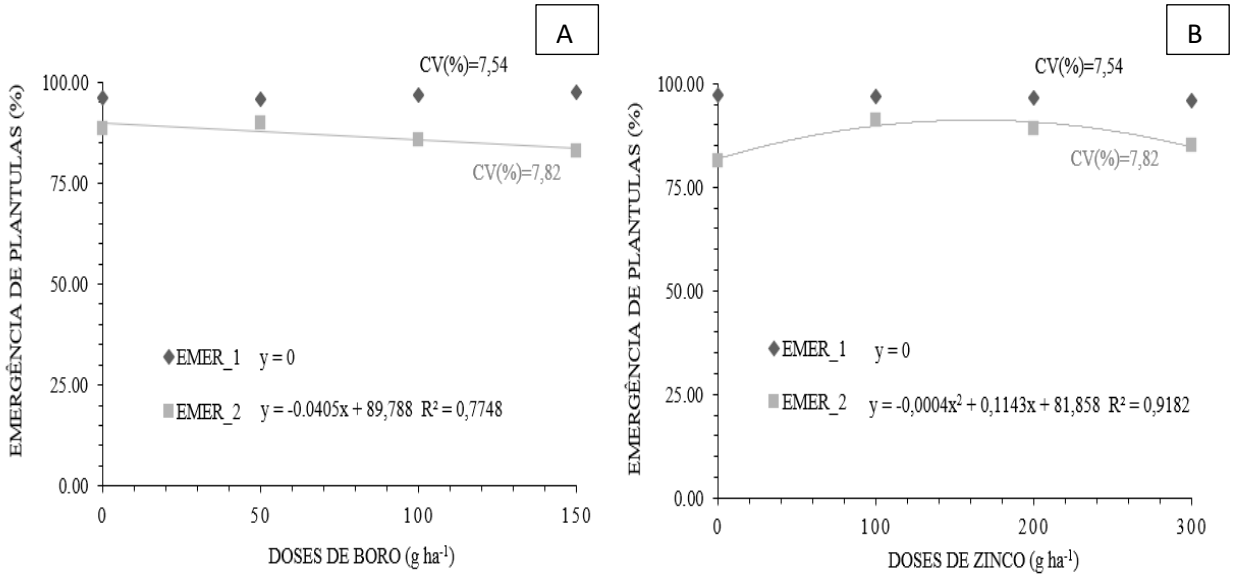
Fonte: Próprio autor.

Tanto o boro como o zinco, estão associados a capacidade regulatória da parede celular e membranas celulares (TAIZ *et al*., 2017; CORIOLETTI *et al*., 2021). A atuação

destes micronutrientes na regulação e manutenção de membranas, pode estar associado a capacidade de potencializar a porcentagem de germinação (PC_1 e PC_2), pois podem influenciar a capacidade e velocidade de embebição, e assim, acelerar o processo germinativo (FERNANDES *et al*., 2007).

Para a emergência de plântulas, a análise para as sementes da cultivar IAC-1850 (EMER_1), não apresentaram diferença entre os tratamentos aplicados tanto para doses de boro como de zinco, enquanto foi observado influência das doses de boro e zinco para a cultivar TAA DAMA-4 (EMER_2). Para as doses de boro houve ajuste linear, no qual os resultados demonstraram que, com aumento das doses de B houve redução do potencial fisiológico, com menor emergência de plântulas. Enquanto para zinco, o ajuste foi quadrático, com ponto de máximo com dose de 142,87 g ha^{-1} de Zn para atingir maior porcentagem de emergência (Figura 12A e 12B).

Figura 12. Porcentagem de emergência de plântulas de feijão (%) da cultivar IAC-1850 (EMER_1) e TAA DAMA-4 (EMER_2), em função das doses de boro (A) e zinco (B) via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2023.



Fonte: Próprio autor.

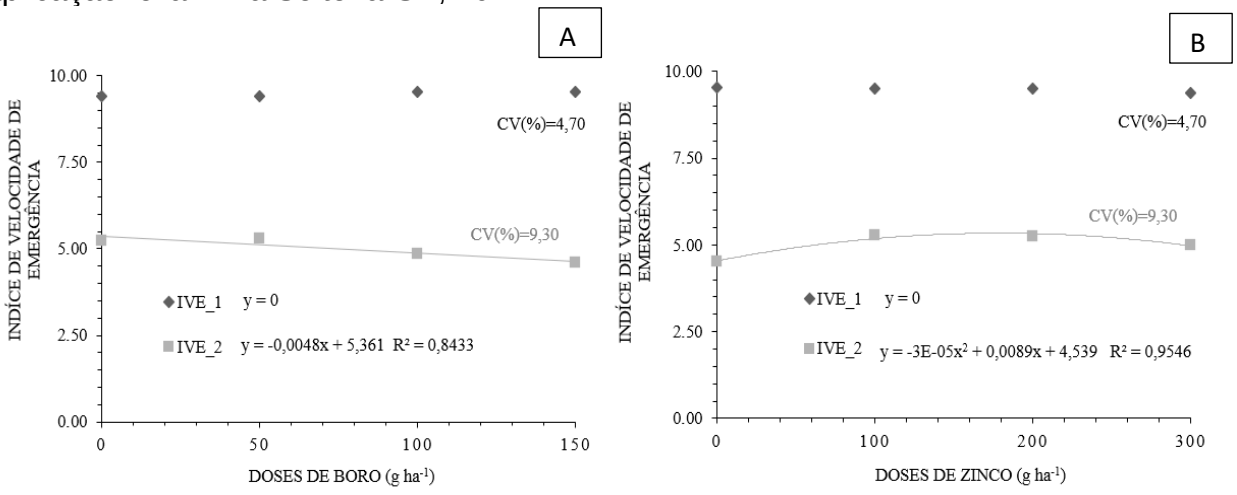
De acordo com os resultados de germinação e emergência observados para a cultivar TAA DAMA-4, é possível verificar o efeito positivo das doses dos micronutrientes

aplicados via foliar sobre a qualidade fisiológica da semente. Estes efeitos benéficos podem ser justificados, conforme Teixeira *et al*. (2005), pelo fato de que a disponibilidade nutricional favorece a formação do embrião e cotilédones, sendo eficaz para o vigor das sementes.

A ausência de diferença entre os tratamentos para as variáveis relacionadas a germinação e emergência, tanto para boro como zinco, para a cultivar IAC-1850 no primeiro ano de cultivo, pode ser justificado pelo nível médio de boro e alto de zinco na área, além da resposta do genótipo (BRESSON *et al*., 2018; TEIXEIRA *et al*., 2008; KACHINSKI *et al*., 2020). Resultados semelhantes também foram observados para a cultura da soja para cultivares de soja NS 7000 IPRO e V-Max RR (NAKAO *et al*., 2018; LEMES *et al*., 2017)

Assim como, para a porcentagem de emergência de plântulas, também não houve diferença entre as doses de boro e zinco para a variável IVE_1. Conforme os resultados obtidos, para a variável IVE_2 para as doses de boro, houve ajuste linear negativo com o aumento das doses de boro, mas para zinco houve ajuste quadrático com dose ótima de 148,33 g ha^{-1} (Figura 13A e 13B).

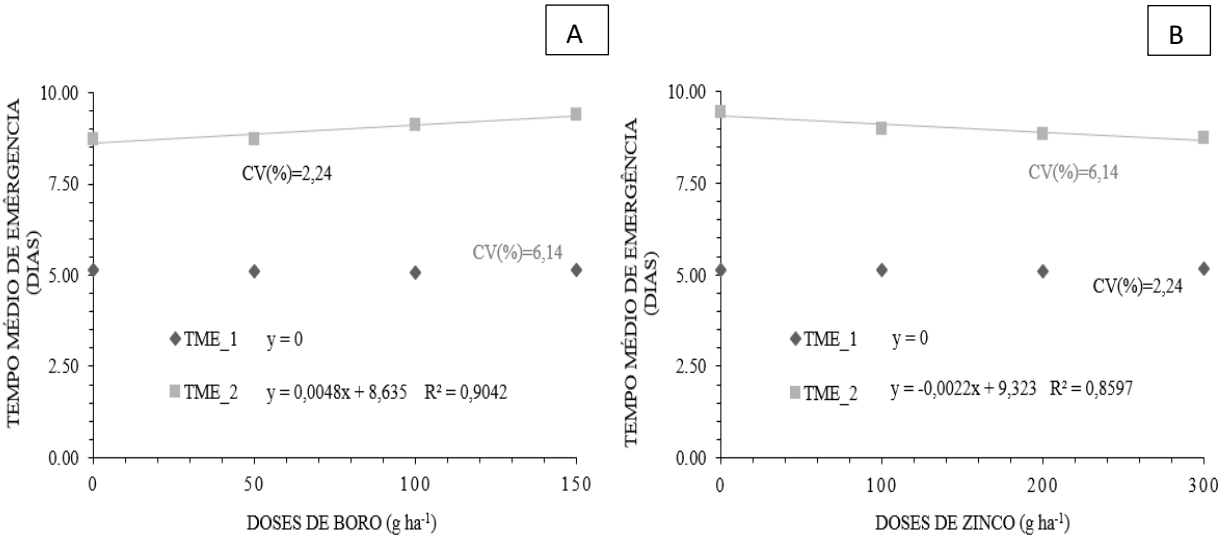
Figura 12. Índice de velocidade de emergência de plântulas de feijão da cultivar IAC-1850 (IVE_1) e TAA DAMA-4 (IVE_2), em função das doses de boro (A) e zinco (B) via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2022.



Fonte: Próprio autor.

Com relação ao tempo médio para emergir, também não houve diferença para a cultivar IAC-1850 (TME_1). Com o aumento das doses de boro, observou-se maior tempo necessário para emergência das plântulas da cultivar TAA DAMA-4 (TME_2) (Figura 14 A). Enquanto o contrário ocorreu para zinco, com o aumento das doses, houve redução do tempo em dias para emergência (Figura 14B).

Figura 13. Tempo médio de emergência de plântulas de feijão da cultivar IAC-1850 (TME_1) e TAA DAMA-4 (TME_2), em função das doses de boro (A) e zinco (B) via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2023.



Fonte: Próprio autor.

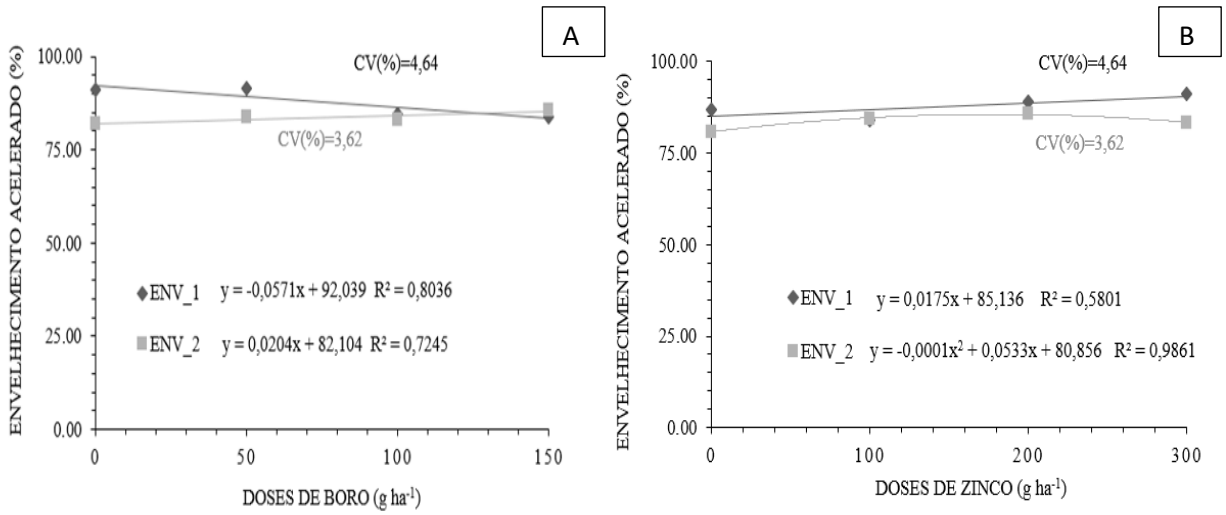
De acordo com os resultados para as variáveis EMER_2, IVE_2 e TME_2 é possível verificar que doses de boro, mesmo que baixas, não foram benéficas para a qualidade fisiológica das sementes, ou seja, não foram favoráveis para o vigor. Com a aplicação de boro, o desempenho das sementes da cultivar TAA DAMA-4 pode ser prejudicado, reduzindo assim, a capacidade e velocidade de emergência a campo, afetando de forma negativa o estabelecimento inicial da cultura e formação do estande.

A aplicação foliar de Zn beneficiou as variáveis EMER_2, IVE_2 e TME_2. Este incremento no vigor das sementes em condições de campo, pode estar relacionado a ativação enzimática desencadeada pelo Zn, que atua como um ativador, o qual também pode reduzir a deterioração da semente. Assim como, estimular o rápido crescimento da

radícula (RIBEIRO; SANTOS, 1996). A exposição das plantas ao teor do nutriente favorece a disponibilidade deste na formação das sementes, o que as tornou mais vigorosas para tolerar as condições ambientais, as quais foram expostas durante o teste de emergência.

Com o teste de envelhecimento acelerado, observa-se que tanto para a cultivar IAC-1850 como para TAA DAMA-4, houve ajuste a regressão para as doses de boro e zinco. Para ENV_1 houve ajuste linear para as doses de boro e zinco, o aumento das doses de B, afetou negativamente a germinação das sementes, contudo com o aumento das doses de Zn há maior porcentagem de germinação de sementes (Figura 15A e 15B).

Figura 14. Envelhecimento acelerado das sementes de feijão da cultivar IAC-1850 (ENV_1) e TAA DAMA-4 (ENV_2), em função das doses de boro (A) e zinco (B) via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2023.



Fonte: Próprio autor.

Com relação ao ENV_2, o aumento das doses de B possibilitou uma porcentagem crescente de germinação, enquanto para o ponto máximo de zinco consistiu em 266,5 g ha^{-1} para germinação estimada de 88%. Dessa forma, observa-se o efeito positivo do micronutrientes em manter o vigor das sementes em condições estressantes (Figura 15A e 15B). Esses resultados, demonstram que a primeira contagem de germinação, após o teste de envelhecimento, manteve-se acima de 80%, sendo um nível

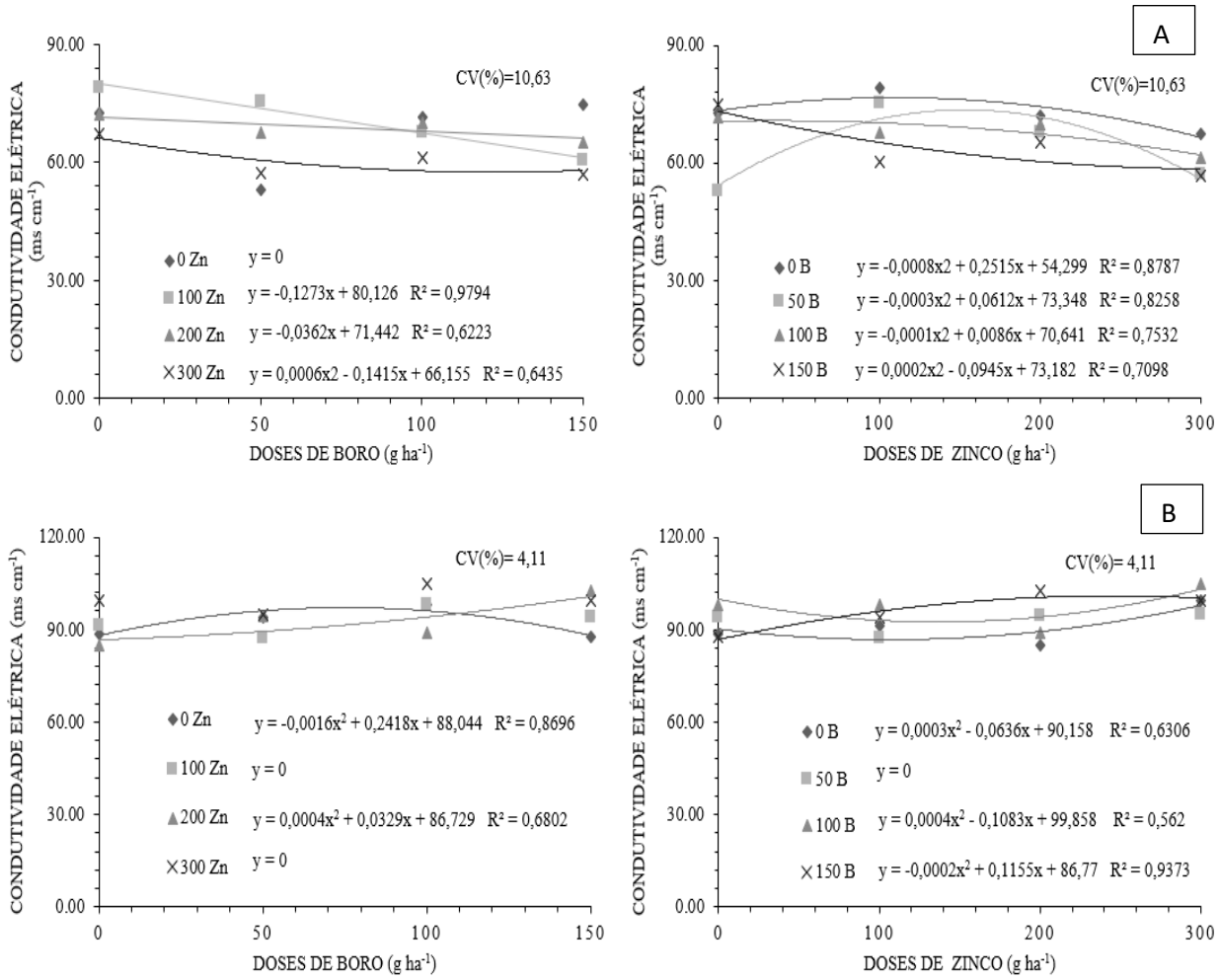
mínimo exigido em testes padrões de qualidade de germinação para comercialização de sementes. Segundo Abrantes *et al*. (2015) apesar de não haver um padrão mínimo para germinação após envelhecimento, médias acima de 80% em condições de estresse demonstram o vigor das sementes.

Os resultados para os dois anos de experimento, demonstram o efeito positivo da adubação foliar de zinco, sobre a capacidade de germinação de sementes em condições estressantes, como em condição de elevada umidade e temperatura. Resultados semelhantes também foram obtidos por Oliveira *et al*. (2017) para a soja, mesmo com aplicação de Zn via solo. O zinco pode ter incrementado a capacidade germinativa, pois como atua como um ativador enzimático, pode ativar enzimas para intensificar a respiração celular e aumentar a produção de ATP, ou seja, liberar mais energia para a germinação (TAIZ *et al*., 2017).

Com relação a variável de condutividade elétrica, quanto menor os valores obtidos, maior o vigor das sementes. No presente estudo, os resultados para análise de condutividade elétrica apresentaram interação entre as doses de boro e zinco, para ambos os ensaios. De acordo com os desdobramentos das doses de boro dentro de cada nível de zinco para COND_1, observa-se que com a dose 0 de g ha^{-1} de Zn não houve ajuste a regressão, mas para as doses de 100 e 200 g ha^{-1} de Zn houve ajuste linear, sendo que com o aumento das doses de boro aplicadas via foliar, as sementes apresentaram menor condutividade (Figura 16_A).

Para a dose de 300 g ha^{-1} de Zn houve ajuste quadrático com ponto de mínimo, neste caso, a associação da dose de 300 g ha^{-1} de Zn + 117,9 g ha^{-1} de B, proporciona menor leitura de condutividade. Para os desdobramentos das doses de zinco, todas as doses de boro apresentaram ajuste quadrático, sendo que apenas na dose de 150 g ha^{-1} B, houve ponto de mínimo, estimando a dose de 236,25 g ha^{-1} de Zn para menor condutividade elétrica das sementes da cultivar IAC-1850 (Figura 16_A).

Figura 15. Desdobramento entre as doses de boro e zinco para a condutividade elétrica de sementes do feijoeiro da cultivar IAC-1850 (COND_1_A) e TAA DAMA-4 (COND_2_B), em função das doses de boro e zinco via aplicação foliar. Ilha Solteira-SP, 2023.



Fonte: Próprio autor.

No segundo ensaio, para o desdobramento das doses de boro dentro de cada nível de zinco, as doses de 100 e 300 g ha^{-1} de Zn, não apresentaram ajuste de regressão, enquanto para as doses de 0 e 200 houve ajuste quadrático com ponto de máximo (Figura 16_B). Diferentemente dos desdobramentos das doses de zinco dentro de cada nível de boro, em que para as doses de 0 e 100 houve ponto de mínimo. Para a dose de 0 g ha^{-1} de B, o ponto de mínimo corresponde a 106 g ha^{-1} de Zn para condutividade estimada em 86,78 µs cm^{-1}, a dose de 100 g ha^{-1} de B tem como ponto de

mínimo 135,37 g ha^{-1} de Zn com condutividade estimada em 92,52 µs cm^{-1}. Desse modo, entende-se que a menor COND seria obtida sem aplicação de boro, para a cultivar TAA DAMA-4, não sendo adequado a aplicação de boro, pois tende a aumentar a liberação de exsudatos, demonstrando menor vigor das sementes.

Os resultados obtidos demonstram que a interação entre doses de boro e zinco foi benéfica em reduzir a condutividade elétrica das sementes. Estes micronutrientes podem ter favorecido maior vigor as sementes, por meio da redução da permeabilidade celular. De acordo com Barbosa (2017) tanto o B como Zn, são constituintes de membranas celulares, dessa forma evita a deterioração das membranas reduzindo a liberação de exsudatos.

Essa relação dos micronutrientes B e Zn com as membranas podem ter favorecido menor condutividade, pois conforme Vieira e Krzyzanowski (1999), a embebição das sementes provoca a reorganização das membranas celulares, o que regula a liberação de lixiviados das sementes. Sementes com maior vigor, conseguem recompor as membranas rapidamente e reduzir a liberação de lixiviados, assim tem-se menor condutividade elétrica, com o aumento do vigor promovido pelos micronutrientes.

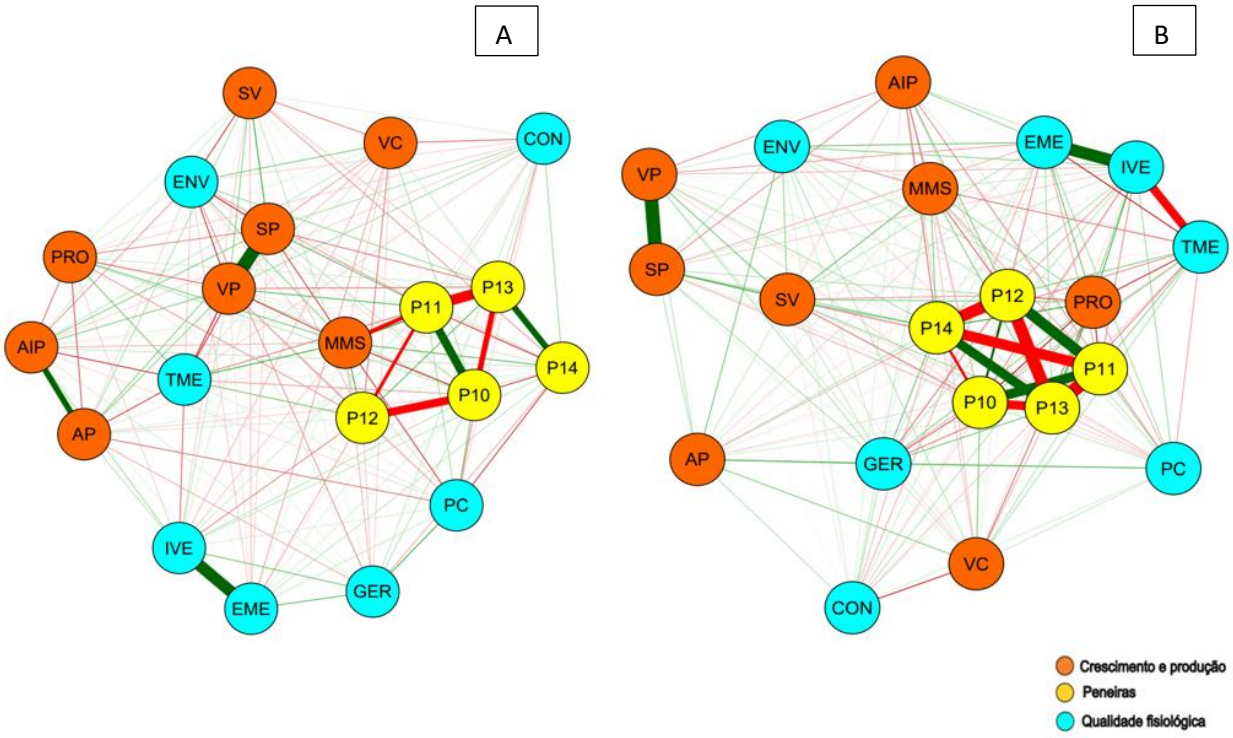
Desse modo, como descrito por Lopes *et al*. (2019), a integridade das membranas pode ser moldada pelo controle da permeabilidade realizado pelos micronutrientes B e Zn. Tal como, impede a liberação de solutos orgânicos, estes ao não serem perdidos para o meio, são aproveitados no crescimento de plântulas, por isso a adubação foliar caracterizou maior vigor às sementes.

De acordo com a correlação de Pearson para as variáveis da cultivar IAC-1850, houve correlação positiva, exemplificada pela linha espessa de cor verde, entre AIPV e AP, VP e SP, P10 e P11, P14 e P13, assim como para a EMER e IVE. Esses resultados demonstram que, conforme teve aumento da altura de planta houve aumento da inserção de vagem, assim como para a quantidade de vagens por planta, conforme a planta produziu mais vagem obteve-se maior quantidade de sementes (Figura 17_A).

Para a análise de sementes, com o aumento da emergência a velocidade de emissão das plântulas na superfície do solo também aumentou. A MMS correlacionou-se de forma negativa com as variáveis de peneira P10 e P11, ou seja, conforme houve

aumento de grãos retidos nessas peneiras ocorre redução da massa de grãos (Figura 17_A).

Figura 16. Redes de correlações de Pearson entre as doses de boro e zinco para as variáveis de estudo para a cultivar IAC-1850 (A) e TAA DAMA-4 (B). Ilha Solteira-SP, UNESP, 2023. O comprimento das linhas indica a intensidade das correlações. Linhas verdes indicam correlações positivas e linhas vermelhas indicam correlação negativa.



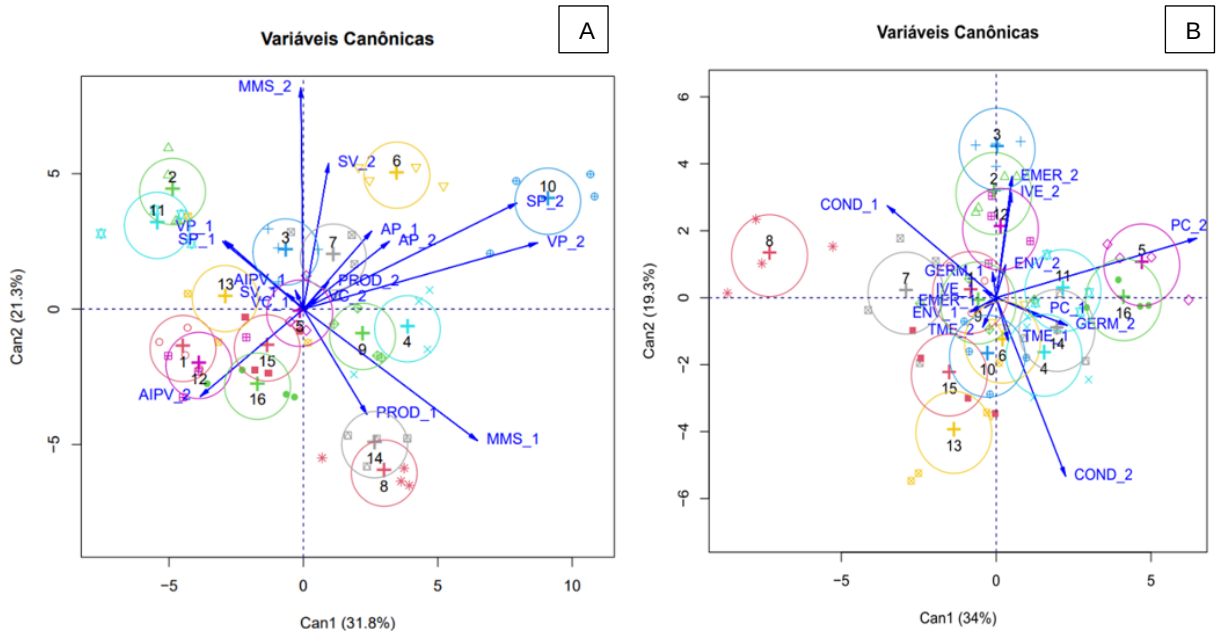
Fonte: Próprio autor.

Para a cultivar TAA DAMA-4 foi observado correlação positiva para as variáveis VP e SP, EMER e IVE, assim como correlações negativas entre as peneiras P11 e P13, e correlações positivas entre P13 e P14 e P10 e P11 (Figura 17_B). Além dessas, há correlação negativa entre TME com IVE e EMER, ressaltando que com o aumento da velocidade e porcentagem de emergência tem-se a redução do tempo necessário para as plântulas emergirem.

A análise multivariada de variáveis canônicas, possibilita associar as variáveis aos respectivos tratamentos aos quais estão correlacionados. No experimento do

primeiro ano, observou-se relação de produtividade para a cultivar IAC-1850 com os tratamentos 8= 50 B + 300 Zn g ha^{-1} e 14= 150 B + 100 Zn g ha^{-1}, enquanto com a TAA DAMA-4 a produtividade está associada ao tratamento 7 = 50 B + 200 Zn g ha^{-1}. As variáveis SP_1 e VP_1 apresentam correlação com os tratamentos 2 e 11, SP_2 e VC_2 estão associadas ao tratamento 10 (Figura 18_A). Com esses resultados observa-se que os micronutrientes interferiram nos componentes de crescimento e produção, com comportamento diferente em relação ao material genético utilizado.

Figura 17. Análise multivariada dos componentes do estudo por meio das variáveis canônicas para os dados de crescimento e produção (A) e qualidade fisiológica de sementes (B) para a cultivar IAC-1850 (_1) e cultivar TAA DAMA-4 (_2). Ilha Solteira-SP, UNESP, 2023. Tratamentos: T1= testemunha, T2= 0 B + 100 Zn, T3= 0 B + 200 Zn, T4= 0 B + 300 Zn, T5= 50 B + 0 Zn, T6= 50 B + 100 Zn, T7= 50 B + 200 Zn, T8= 50 B + 300 Zn, T9= 100 B + 0 Zn, T10= 100 B + 100 Zn, T11= 100 B + 200 Zn, T12= 100 B + 300 Zn, T13= 150 B + 0 Zn, T14= 150 B + 100 Zn, T15= 150 B + 200 Zn, T16= 150 B + 300 Zn, em g há$^{-1}$.



Fonte: Próprio autor.

Para a produtividade observou-se, assim como, para os dados obtidos com o ajuste de regressão que a associação entre as doses de boro e zinco surtiram efeito positivo e incrementaram a produtividade de sementes (Figura 8, Figura 18). Aumento

significativo na produtividade e massa de grãos, também foram obtidos por Morais *et al*. (2020) com aumento de doses de zinco associada com a presença de boro.

Quanto a qualidade fisiológica de sementes, é possível observar que a emergência de plântulas no segundo ano (EMER_2) está associada aos tratamentos 2= 0 B + 100 Zn, 3= 0 B + 200 Zn (Figura 18_B). Estes resultados demonstram como observado nos dados obtidos na regressão, no qual o ponto de máximo foi obtido com 19,6 g ha^{-1} de B e 142,8 g ha^{-1} de zinco, que para a emergência de plântulas, doses menores de boro e médias de zinco foram mais eficientes.

3.4 CONCLUSÃO

A aplicação associada dos micronutrientes, boro e zinco, promovem incremento no crescimento, produção e produtividade do feijoeiro, além de influenciarem a qualidade fisiológica das sementes.

Para a cultivar IAC-1850 a dose de 50 g ha^{-1} de B associada a 153,9 g ha^{-1} de Zn, assim como a 300 g ha^{-1} de Zn com 64,12 g ha^{-1} de B para a cultivar TAA DAMA-4 promovem maior produtividade estimada em 1799,66 kg ha^{-1} e 2516,39 kg ha^{-1}, respectivamente.

A aplicação foliar de boro não interfere na qualidade fisiológica das sementes da cultivar IAC-1850. Nas condições de cultivo da cultivar TAA DAMA-4, a aplicação de boro não favoreceu a emergência de plântulas, mas o zinco incrementa tanto a germinação como emergência.

REFERÊNCIAS

ABRANTES, F. L.; SÁ, M. E.; SILVA, M. P.; SOUZA, L. C. D.; ARRUDA, N. Qualidade fisiológica de sementes de feijão em função de sistemas de manejo de solo e adubação foliar com boro. **Revista Cultura Agronômica**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 167-180, 2015.

BARBOSA, R. G. **Tratamento químico de sementes de soja: reflexos no desenvolvimento inicial de plantas.** 2017. Dissertação (Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes) — Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.

BERTI, M. P. S.; SÁ, M. E.; BENETT, C. G. S.; ROCHA, E. C.; BERTI, C. L. F. Doses e épocas de aplicação de boro na qualidade de sementes de soja. **Revista Cultura Agronômica**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 123-137, 2019.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Secretaria de Defesa Agropecuária. **Regras Para Análise de Sementes**. Brasília-DF: Mapa/ACS, 2009. 399p.

BRESSON, J. B.; ZANÃO JUNIOR, A.; MIOLA, V.; ANDRADE, E. A.; ROTTA, L. I. Aplicação de zinco via foliar na cultura do feijoeiro. **Cultivando o Saber**, [*s. l.*], p. 81-87, 2018.

CARNEIRO, L. F.; FURTINI NETO, A. E.: RESENDE, A. V.; CURI, N.; SANTOS, J. Z.; LAGO, F. J. Fontes, doses e modos de aplicação de fósforo na interação fósforo-zinco em milho. **Ciência e agrotecnologia,** Lavras, v. 32, n. 4, p. 1133-1141, 2008.

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de Nutrientes**. 3. ed. atual. e ampl., São Paulo: Manole, 2009, 1172p.

DANTAS, L. R. **Desempenho agronômico do feijão-comum fertirrigado com boro e zinco**. 2021. 36 f. Monografia (Curso de Bacharelado em Agronomia). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde, GO, 2021.

DOMINGOS, C. D. S.; BESEN, M. R.; ESPER NETO, M.; COSTA, E. J. O.; SCAPIM, C. A.; INOUE, T. T.; BATISTA, M. A.; BRACCINI, A. L. Can calcium and boron leaf application increase soybean yield and seed quality?. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science**, Copenhagen, v. 71, n. 3, p. 171-181, 2021.

FAOSTAT. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Explore data. **Produção mundial de feijão**. Disponível em: https://www.fao.org/faostat/en/#home.

FATIMA; H.; TAHIR, M.; SALEEM, M. A. Evaluating the effect of foliar applied manganese, iron, zinc and boron at different growth stages of Mash bean [Vigna mungo (L.) Hepper]. **Journal of Pure and Applied Agriculture**, Amsterdam, v. 6, n. 2, p. 34-42, 2021.

FERNANDES, D. S.; SORATTO, R. P.; KULCZYNSKI, S. M.; BISCARO, G. A.; REIS, C. J. D. Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijão em consequência da aplicação foliar de manganês. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, p. 419-426, 2007.

FLORES, R. A.; SILVA, R. G.; CUNHA, P. P.; DAMIN, V.; ABDALA, K. D. O.; ARRUDA, E. M.; RODRIGUES, R. A.; MARANHÃO, D. D. C. Economic viability of Phaseolus vulgaris (BRS Estilo) production in irrigated system in a function of application of leaf boron. **Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science**, Copenhagen, v. 67, n. 8, p. 697-704, 2017.

GOMES, I. S; BENETT, C. G. S.; XAVIER, R. C.; BENETT, K. S. S.; LEAO-ARAUJO, E. F.; SILVA, A. R.; CONEGLIAN, A. Boron fertilization affects the physiological quality of soybean seeds, conventional and transgenic. **Australian Journal of Crop Science**, Lismore, v. 14, n. 1, p. 92-97, 2020.

HUSSEIN, A. A.; ALI, A. H. Effect of spraying with organic fertilizer (Fylloton) and boron on growth characteristics and yield of green beans grown in unheated plastic houses. **Euphrates Journal of Agriculture Science,** [*s. l.*], v. 13, n. 4, p. 202-210, 2021.

IMRAN; AMANULLAH. Phosphorus and Boron Application Optimizing Biofortification of P and Productivity of French Bean (Phaseolus vulgaris L.). **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 52, n. 22, p. 2876-2883, 2021.

KACHINSKI, W. D.; ÁVILA, F. W.; MULLER, M. M. L.; REIS, A. R.; RAMPIM, L.; VIDIGAL, J. C. B. Nutrição, produtividade e exportação de nutrientes em feijoeiro sob adubação com zinco no sistema plantio direto. **Ciência e Agrotecnologia,** Lavras, v. 44, p. e029019, 2020.

KARAMI, S.; SANAVY, S. A. M. M.; GHANEHPOOR, S.; KESHAVARZ, H. Effect of foliar zinc application on yield, physiological traits and seed vigor of two soybean cultivars under water deficit. **Notulae Scientia Biologicae**, Cluj-Napoca, v. 8, n. 2, p. 181-191, 2016.

LEMES, E.; MENDONÇA, A.; DIAS, L.; BRUNES, A.; OLIVEIRA, S.; FIN, S.; MENEGHELLO, G. Tratamento de sementes de soja com zinco: efeito na qualidade fisiológica e produtividade. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 13, n. 2, p. 76–86, 2017.

LOPES, P. R.; ARAÚJO, K. C. S.; RANGEL, I. M. L. Sanidade vegetal na perspectiva da transição agroecológica. **Revista Fitos**, [*s. l.*], v. 13, n. 2, p. 178-194, 2019.

LOUREIRO, M. P.; CUNHA, L. R.; NASTARO, B. T.; PEREIRA, K. Y. S.; NEPOMOCENO, M. L. Biofortificação de alimentos: problema ou solução? **Segurança Alimentar e Nutricional**, Campinas, v. 25, n. 2, p. 66-84, maio/ago. 2018.

NAKAO, A. H.; COSTA, N. R.; ANDREOTTI, M.; SOUZA, M. F. P.; DICKMANN, L.; CENTENO, D. C.; CATALANI, G. C. Características agronômicas e qualidade fisiológica de sementes de soja em função da adubação foliar com boro e zinco. **Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v.27, n.3, p. 312-327, 2018.

OLIVEIRA, F. C.; BENETT, C. G. S; BENETT, K. S. S.; ARRUDA, N.; VIEIRA, B. C. Potencial fisiológico de sementes de soja em diferentes doses e épocas de aplicação de zinco. **Revista de Agricultura Neotropical,** Dourados, v. 4, Suplemento 1, p. 66-71, 2017.

OLIVEIRA, L. C. P.; SOUZA, D. C.; SILVA, L. F. L.; GUERRA, T. S.; RESENDE, L. V.; SILVA, M. L. S. Efeito da adubação silicatada em hortaliças não convencionais. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 19, n. 2, p. 224 - 229, 2020.

PÁDUA, G. P. D.; ZITO, R. K.; ARANTES, N. E.; FRANÇA NETO, J. D. B. Influência do tamanho da semente na qualidade fisiológica e na produtividade da cultura da soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasilia, DF, v. *32*, n. 3, p. 9-16, 2010.

PÉREZ-ÁLVAREZ, S.; SIDA-ARREROLA, J. P.; SÁNCHEZ, E.; ARDISANA, E. F. H. Expression analysis and biochemical characterization of beans plants biofortificated with zinc. **Saudi Journal of Biological Sciences**, Amsterdam, v. 24, n. 6, p. 1322–1326, 2017.

PONCE-GARCÍA, C. O.; SOTO-PARRA, J. M.; SÁNCHEZ, E.; MUÑOZ-MÁRQUEZ, E.; PIÑA-RAMÍREZ, F. J.; FLORES-CÓRDOVA, M. A.; PEREZ-LEAL, R.; YÁÑEZ MUÑOZ, R. M. Efficiency of nanoparticle, sulfate, and zinc-chelate use on biomass, yield, and nitrogen assimilation in green beans. **Agronomy**, Basel, v. 9, n. 3, p. 128-139, 2019.

REIS, C. J.; SORATTO, R. P.; BISCARO, G. A.; KULCZYNSKI, S. M.; FENANDES, D. S. Doses e modos de aplicação de boro na produção e qualidade fisiológica de sementes de feijão em solo de cerrado. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 55, n. 4, p. 258-264, 2008.

RIBEIRO, N. D.; SANTOS, O. S. Aproveitamento do zinco aplicado na semente na nutrição da planta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 26, n. 1, p. 159-165, 1996.

SANTANA, O. I.; SANTOS, M. S.; SANTOS, C. A. P.; CAMPOS, N. M. Produção de feijão-de-corda sob diferentes doses de nitrogênio aliado à aplicação de boro. **Agropecuária Científica no Semiárido,** Patos, v.16, n.2, p.75-80, 2020.

SCALCO, M. S.; ALVARENGA, L. A.; GUIMARÃES, R. J.; DOMINGHETTI, A. W.; COLOMBO, A.; ASSIS, G. A.; ABREU, G. F. Teores foliares de fósforo e zinco, produtividade e crescimento de café irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 49, p. 95-101, 2014.

SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M.; SOUZA, E. D. F. C. D.; SOUZA-SCHLICK, G. D. D. Produtividade e qualidade dos grãos de feijão em função da aplicação de nitrogênio em cobertura e via foliar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, MG, v. 35, p. 2019-2028, 2011.

SULINO, W. C.; BUSO, W. H. D. Adubação foliar (S, Mn e Zn) em diferentes estádios fenológicos do feijoeiro irrigado. **Investigação, Sociedade e Desenvolvimento**, [*s. l.*], v. 10, n. 10, 2021.

TABESH, M.; KIANI, S.; KHOSHGOFTARMANESH, A. H. Efetividade do condicionamento de sementes e aplicação foliar de zinco-aminoácidos quelatos em comparação com sulfato de zinco na produtividade e qualidade nutricional de grãos de feijão. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 43, n. 14, p. 2106-2116, 2020.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

TEIXEIRA, I. R.; BORÉM, A.; ARAÚJO, G. A. A.; ANDRADE, M. J. B. Teores de nutrientes e qualidade fisiológica de sementes de feijão em resposta à adubação foliar com manganês e zinco. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 1, pp. 83-88, 2005.

TEIXEIRA, I. R.; BORÉM, A.; SILVA, A. G.; KIKUTI, H. Fontes e doses de zinco no feijoeiro cultivado em diferentes épocas de semeadura. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, n. 2, p. 255-259, 2008.

VIEIRA, R.D.; KRZYZANOWSKI, F.C. Teste de Condutividade Elétrica In: KRZYZANOWSKI, F.C.; VIEIRA, R.D.; FRANÇA NETO, J.B. **Vigor de Sementes:** Conceitos e Testes. Londrina: ABRATES, 1999. p. 2-24.