

# BORO E ZINCO VIA FOLIAR E SEUS EFEITOS NAS PLANTAS E SEMENTES DE FEIJOEIRO

*Data de aceite: 02/06/2023*

### **Josiane Souza Salles**

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Departamento de agronomia (ambiência vegetal), Unidade Universitária de Cassilândia – MS, Brasil.  
<http://lattes.cnpq.br/6856242079660140>

### **Alexandre Henrique Freitas De Lima**

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Departamento de agronomia (ambiência vegetal), Unidade Universitária de Cassilândia – MS, Brasil.  
<http://lattes.cnpq.br/1308833987562195>

### **Jussara Souza Salles**

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Departamento de agronomia (ambiência vegetal), Unidade Universitária de Cassilândia – MS, Brasil.  
<http://lattes.cnpq.br/1953902325412011>

### **Flávio Ferreira Da Silva Binotti**

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS), Departamento de agronomia (ambiência vegetal), Unidade Universitária de Cassilândia – MS, Brasil.  
<http://lattes.cnpq.br/6923018120768322>

### **Marco Eustáquio De Sá**

Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho (UNESP), Engenharia Agrônômica, Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia (DFTASE), Câmpus de Ilha Solteira-SP.  
<http://lattes.cnpq.br/0756504113273662>

### **Orivaldo Arf**

Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho (UNESP), Engenharia Agrônômica, Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia (DFTASE), Câmpus de Ilha Solteira-SP.  
<http://lattes.cnpq.br/2359995407903863>

**RESUMO:** O presente trabalho apresenta uma revisão de literatura sobre efeitos da adubação foliar com micronutrientes boro e zinco sobre o crescimento de plantas e qualidade de sementes de feijão comum. O trabalho aborda uma discussão sobre a tecnologia de adubação foliar, importante para demonstrar resultados que podem interferir e incrementar a qualidade de produção e de sementes, nos diferentes sistemas de cultivo. Inicia-se com uma introdução abordando os aspectos gerais,

como importância da espécie supracitada e adubação com micronutrientes para a cultura. Na revisão sobre o tema apresentado são elencados, primeiramente, aspectos gerais sobre a cultura do feijoeiro, como características da planta, fenologia e condições adequadas para crescimento e desenvolvimento. Posteriormente, aborda-se a relação dos micronutrientes boro e zinco para a cultura, relacionando sua importância, e associa-se o ponto de vista que levou a tratar sobre o assunto da revisão. Dessa forma, realizou-se uma discussão, baseada na busca literária de trabalhos publicados recentemente que relacionam os efeitos da adubação do boro e zinco no crescimento e produtividade, assim como na qualidade fisiológica de sementes. Em síntese, adubação foliar é uma técnica com grande foco de pesquisas, em especial, para analisar os resultados obtidos com o emprego de micronutrientes, como o boro e zinco, sendo assim aprimorar os sistemas de produção com aplicação de diferentes técnicas podem incrementar na produtividade e qualidade de sementes de feijão.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Phaseolus vulgaris* L., adubação foliar, micronutrientes, qualidade fisiológica e produtividade.

## BORON AND ZINC VIA LEAF AND THEIR EFFECTS ON BEAN PLANTS AND SEEDS

**ABSTRACT:** This paper presents a literature review on the effects of foliar fertilization with boron and zinc micronutrients on plant growth and seed quality of common bean. The work approaches a discussion about the technology of foliar fertilization, important to demonstrate results that can interfere and increase the quality of production and seeds, in the different cultivation systems. It begins with an introduction addressing general aspects, such as the importance of the aforementioned species and fertilization with micronutrients for the crop. In the review on the subject presented, firstly, general aspects of common bean culture are listed, such as plant characteristics, phenology and adequate conditions for growth and development. Subsequently, the relationship between boron and zinc micronutrients for the crop is discussed, relating their importance, and the point of view that led to the subject of the review is associated. In this way, a discussion was carried out, based on the literary search of recently published works that relate the effects of boron and zinc fertilization on growth and productivity, as well as on the physiological quality of seeds. In summary, foliar fertilization is a technique with a great focus of research, in particular to analyze the results obtained with the use of micronutrients, such as boron and zinc, thus improving production systems with the application of different techniques can increase productivity and bean seed quality.

**KEYWORDS:** *Phaseolus vulgaris* L., foliar fertilization, micronutrients, physiological quality and productivity.

## 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<sup>-1</sup>. Dantas (2021) verificaram aumento linear de massa de grãos e produtividade de feijoeiro, com aumento de doses de zinco (0 a 20 kg há<sup>-1</sup>) 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<sup>-1</sup>), 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 com os micronutrientes boro e zinco sobre as características de crescimento e produtividade das plantas, e qualidade fisiológica de sementes de feijão, através de um levantamento bibliográfico dos principais trabalhos publicados sobre o tema.

## 2 | 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 cariocinha (grupo carioca), caracterizado 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 prostrar 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 prostrar e, podem crescer mais de 2,0 m de altura (AIDAR *et al.*, 2002), Figura 1 e 2.

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 preflorescência, 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).



Figura 1. Características de plantas de feijoeiro, cultivar TAA DAMA-4, em fase inicial, apresenta porte prostrado e hábito de crescimento indeterminado tipo III. Fonte: Salles, J. S. 2022.



Figura 1. Características de plantas de feijoeiro, cultivar IAC 1850, porte ereto, hábito de crescimento indeterminado tipo II. Fonte: Salles, J. S. 2021.

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 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<sup>-3</sup> são classificados como baixos, entre 0,21 e 0,60 mg dm<sup>-3</sup> teor médio, quando maior que 0,60 mg dm<sup>-3</sup> teor. Para o zinco, descreve-se que concentrações entre 0 e 0,5 mg dm<sup>-3</sup> consistem no teor baixo, entre 0,6 e 1,2 mg dm<sup>-3</sup> em teor médio e quando superior a 1,2 mg dm<sup>-3</sup> 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<sup>-3</sup> como teor baixo, entre 0,3 e 0,5 mg dm<sup>-3</sup> como teor médio, enquanto maior que 0,5 mg dm<sup>-3</sup> 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, BUZZETTI *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.



Figura 3. Adubação foliar com micronutrientes, em área de feijão comum, cultivar TAA DAMA 4, com pulverizador manual. Fonte: SALLES, J. S. 2022.

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<sup>-1</sup> 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<sup>3</sup> 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 agrônômicas 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup>) com e sem adição de boro no estágio 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<sup>-1</sup> foi mais eficiente em promover maior fotossíntese líquida, além de aumentar em 8% o rendimento de grãos, equivalente a 311 kg ha<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> via foliar e solo, Flores *et al.* (2019) relatam que a aplicação da dose de 8 kg ha<sup>-1</sup> 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 estágio 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<sup>-1</sup> combinadas via foliar nas doses de 0,0025% e 0,05% de solução, mostrou que a adubação de 2 kg ha<sup>-1</sup> na água de irrigação, associada a pulverização foliar com 0,0025% de solução, promoveu maior produtividade para todas cultivares (HOSSEINI; AMINI, 2019).

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<sup>-1</sup>) 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 artificiais, 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, como germinação, emergência, envelhecimento acelerado e condutividade elétrica (figura 4, 5 e 6).



Figura 4. Teste de germinação e comprimento de plântulas de feijão, exemplos de análises laboratoriais de qualidade fisiológica. Fonte: SALLES, J. S. 2022.



Figura 5. Teste de emergência de plântulas de feijão, exemplos de análises laboratoriais de qualidade fisiológica. Fonte: SALLES, J. S. 2022.



Figura 6. Análises de envelhecimento acelerado e condutividade elétrica, exemplos de análises laboratoriais de qualidade fisiológica. Fonte: SALLES, J. S. 2022.

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.

Em pesquisa com adubação foliar com Zn, Teixeira et al. (2015) não observaram influência 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, relacionam que o Zn pode migrar das folhas para os grãos, sendo fundamental para a nutrição inicial das plântulas.

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.; MARANHÃO, D. D. C.; SANTOS, M. M. Physiological quality and grain production of 'Phaseolus vulgaris' (cv. BRS Perola) using boron (B) application under irrigation 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 Agriculturae 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**, Brasília, 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 agrônômicas 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 doses e boro na qualidade de sementes de feijão comum e mamona sob consórcio. **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 Agrônomo/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 agrônômico de soja. **Revista de Ciências Agrárias**, 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 Agrônômica**, [s. l.], v. 42, n. 1, p. 32-38, 2011.