

**INSTITUTO
FEDERAL**

Goiano

Campus
Rio Verde

BACHARELADO EM AGRONOMIA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DO FEIJÃO-COMUM FERTIRRIGADO
COM BORO E ZINCO**

LEONARDO RODRIGUES DANTAS

**Rio Verde, GO
2021**

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE**

BACHARELADO EM AGRONOMIA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DO FEIJÃO-COMUM FERTIRRIGADO COM BORO E
ZINCO**

LEONARDO RODRIGUES DANTAS

Trabalho de Curso apresentado ao Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Agronomia.

Orientador: Dr. Leonardo Nazário Silva dos Santos

Rio Verde, GO
Julho, 2021

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano

D192d Dantas, Leonardo Rodrigues
DESEMPENHO AGRONÔMICO DO FEIJÃO-COMUM FERTIRRIGADO
COM BORO E ZINCO / Leonardo Rodrigues Dantas;
orientador Dr. Leonardo Nazário Silva dos Santos. --
Rio Verde, 2021.
36 p.

TCC (Graduação em Bacharelado em Agronomia) --
Instituto Federal Goiano, Campus Rio Verde, 2021.

1. Phaseolus vulgaris. 2. micronutrientes. 3.
irrigação. I. Nazário Silva dos Santos, Dr. Leonardo
, orient. II. Título.

LEONARDO RODRIGUES DANTAS

DESEMPENHO AGRONÔMICO DO FEIJÃO-COMUM FERTIRRIGADO COM BORO E ZINCO

Trabalho de Curso DEFENDIDO e APROVADO em 07 de julho de 2021, pela Banca Examinadora constituída pelos membros:



Dr. Fernando Nobre Cunha
IF Goiano Campus Rio Verde



Dr. Fernando Rodrigues Cabral Filho
IF Goiano Campus Rio Verde



Dr. Leonardo Nazário Silva dos Santos
IF Goiano Campus Rio Verde

Rio Verde – GO
Julho, 2021

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, por ter me dado família incrível que sempre me apoiou, por ter me dado a chance de realizar esse sonho e por ser meu porto seguro em todos os momentos da minha vida.

Aos meus familiares, em especial ao meu pai Rosimar, a minha mãe Ednalucia e meu irmão Guilherme, que nunca mediram esforços para tornar isso possível, sempre me apoiaram e acreditaram em mim. Minha eterna gratidão a vocês, essa conquista também é de vocês.

A minha namorada, Rithiely, muito obrigado por todo apoio e auxílio na concretização dessa pesquisa, você também foi fundamental para a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Leonardo Nazário, o qual tive o prazer de conhecer no Laboratório de hidráulica e irrigação, e que durante a condução deste trabalho me deu todo apoio e auxílio necessário. Meu muito obrigado essa conquista é nossa!

Aos meus parceiros de laboratório, por toda ajuda e por me ensinar tanto ao longo desses anos. Vocês foram muito importantes e tornou tudo mais fácil, muito obrigada.

Por fim, agradeço a todos os amigos que fiz durante os meus 5 anos de graduação e que de alguma forma agregaram positivamente e me ajudaram a chegar até aqui.

RESUMO

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

Partindo da hipótese que a aplicação de micronutrientes em solos de cerrado, tais como, boro e zinco, potencializam a produção de grãos do feijão-comum, objetivou-se com este trabalho, avaliar o efeito combinado da aplicação de boro e zinco no crescimento, desenvolvimento e produtividade do feijão-comum irrigado. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, analisado em esquema de parcelas subdivididas 5×2 , com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em cinco doses de zinco (0, 5, 10, 15 e 20 kg ha⁻¹); e dois níveis de adubação com boro (Com e Sem Boro). A fertirrigação com zinco foi efetuada no estágio fenológico V3/V4 e a do boro foi realizada florescimento (R5). Foi utilizado semente da cultivar BRS Estilo. As variáveis avaliadas foram a altura de plantas, número de entrenós, massa seca total, número de folhas, área foliar, índice SPAD e NDVI, aos 50 dias após a semeadura, e na colheita, foram mensurados: número de grãos, número de vagens por planta, massa total dos grãos, produtividade de grãos, sacas por hectare. Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F a 5% de probabilidade e quando significativo, foi realizada a análise de regressão para as doses de zinco e o teste de média Tukey a 5% de probabilidade, para o fator boro, utilizando o software estatístico SISVAR[®]. O aumento das doses zinco associadas com a adição de boro proporciona aumento linear nas variáveis de massa de grãos, produtividade e sacas por hectares.

Palavras-Chave: *Phaseolus vulgaris*, micronutrientes, irrigação.

ABSTRACT

Based on the hypothesis that the application of micronutrients in cerrado soils, such as boron and zinc, potentiate the grain production of common bean, the objective of this work was evaluate the combined effect of boron and zinc application on the growth, development and productivity of irrigated common bean. The experimental design used was randomized blocks, analyzed in a subdivided scheme 5×2 , with four replications. The treatments consisted in five doses of zinc (0, 5, 10, 15 and 20 kg ha⁻¹); and two levels of boron fertilization (with and without boron). Fertigation with zinc was performed at phenological stage V3/V4 and boron was in the flowered (R5). The cultivar used as Seed of BRS Estilo. We measured the plant height, number of amongeses, total dry mass, number of leaves, leaf area, SPAD index and NDVI, at 50 days after seeding, and at harvest, were measured: number of grains, number of pods per plant, total grain mass, grain yield, sacks per hectare. The data were submitted to variance analysis by the F test at 5% probability and when significant, regression analysis was aplied for zinc doses and the Tukey mean test at 5% probability for the boron factor, using the statistical software SISVAR®. The increase in zinc doses associated with the addition of boron provided a linear increase in the variables of grain mass, yield and sacks per hectare.

Key word: *Phaseolus vulgaris*, micronutrients, irrigation.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise química e granulométrica do solo.....	18
Tabela 2. Análise de variância do diâmetro de caule (DC), altura de planta (ALT), número de entrenós (NE) e massa seca total (MST) do feijão-comum, aos 50 DAP.....	24
Tabela 3. Análise de variância do índice SPAD, número de trifólios (NTF), número de folhas (NF), área foliar (AF) e NDVI (<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>) do feijão-comum fertirrigado com zinco e boro, aos 50 dias após a semeadura (DAS), Rio Verde – GO, 2020.....	24
Tabela 4. Análise de variância do número de vagens por planta (NVP), número de grãos (NG), número de grãos por vagem (NGV), massa de grãos (MG), produtividade de grãos (PROD) e número de sacas por hectare (SCHA) do feijão-comum fertirrigado com zinco e boro, Rio Verde – GO, 2020.....	26
Tabela 5. Número de vagens por planta (NVP), massa de grãos (MG), produtividade de grãos (PROD) e número de sacas por hectare (SCHA) do feijão-comum fertirrigado com zinco e boro, Rio Verde – GO, 2020.....	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Croqui do experimento.....	19
Figura 2. Implantação do experimento.....	20
Figura 3. Condução do experimento.....	21
Figura 4. Avaliação das variáveis morfológicas.....	22
Figura 5. Avaliação de Variáveis de produtividade.....	23
Figura 6. Número de vagens por planta (NVP - A), massa de grãos (MG - B), produtividade de grãos (PROD - C) e número de sacas por hectare (SCHA - D) do feijão-comum, em função da fertirrigação com zinco e boro, Rio Verde – GO, 2020.....	27

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2 REVISÃO DE LITERATURA	11
2.1 Cultra do Feijão	11
2.2. Irrigação no Feijão.....	13
2.3 Boro na Cultura do Feijoeiro	15
2.4 Zinco na Cultura do Feijoeiro.....	16
3 MATERIAIS E MÉTODOS	17
3.1 Localização e Descrição da Área Experimental	17
3.2 Caracterização do Solo da Área Experimental	18
3.3 Delineamento da Área Experimental.....	18
3.4 Implantação e Condução do Experimento.....	19
3.6- Variáveis analisadas	21
3.6.1- Variáveis morfológicas	21
3.6.2- Variáveis de produtividade.....	22
3.6.3 – Índices vegetativos	23
3.7- Análise Estatística	23
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	24
5 CONCLUSÃO	28
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	29

INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma cultura de importância nutricional, econômica e social na dieta dos brasileiros, pois juntamente com o arroz ela é a principal fonte de proteínas da alimentação tipicamente brasileira, além disto, esta leguminosa é rica em nutrientes essenciais ao metabolismo humano, como minerais, vitaminas, ferro, cálcio e fósforo, magnésio, zinco, carboidratos complexos, proteínas e fibras (COELHO et al., 1991; BONNET et al., 2006).

A leguminosa é cultivada em diversos países, sendo os maiores produtores mundiais segundo a FAOSTAT (2019), Myanmar, Índia, Brasil, Estados Unidos, México e Tanzânia, os quais são responsáveis por 57% do total produzido no mundo, ou seja, um total de 15,3 milhões de toneladas, e segundo Conab (2017) os maiores produtores mundiais de feijão, são também os maiores consumidores da leguminosa, o que explica o baixo índice de excedentes exportáveis, influenciando diretamente o conhecimento do mercado e, conseqüentemente, o comércio internacional do produto.

O feijão é cultivado em todas as regiões do Brasil, ocorrendo em grande maioria em pequenas propriedades, mas com o passar dos anos aumentou-se o cultivo da leguminosa em áreas irrigadas no Brasil, sendo cultivado no Centro-oeste principalmente na safra de inverno ou terceira, após a retirada do milho safrinha, segundo a Embrapa (2021) no Brasil, o feijão-comum da terceira safra representa, na média do período, a produção de 433,7 toneladas, com 15,4% da produção nacional, colhidas em 187,3 mil hectares, que correspondem a 8,1% da área total, com rendimento médio de 2.317 kg ha⁻¹.

A cultura do feijoeiro é bastante sensível ao estresse hídrico, sendo que os efeitos da falta de água no solo são a diminuição da produtividade, aumento de espécies reativas de oxigênio, redução de área foliar, e conseqüentemente de área fotossintética ativa, redução da assimilação líquida de CO₂ e aumento de gasto de energia pela planta, (JADOSKI, 2012). A cultura exige no mínimo 300 mm de chuva distribuídos ao longo de seu ciclo, sendo a época mais suscetível ao déficit hídrico a floração e durante o período de formação de vagens.

De uma maneira geral, a produção de feijão no Brasil tem sido limitada principalmente por restrições hídricas e veranicos, sendo que as perdas de produtividade variam em função da intensidade deste nas diferentes fases fenológicas do feijão (BIZARI et al, 2009; CALVACHE et al., 1997; STONE et al., 2006).

Para que a cultura desempenhe todo o seu potencial produtivo, é fundamental que todos os nutrientes exigidos pelas plantas sejam disponibilizados, como os macronutrientes exigidos em maiores quantidades como nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), e micronutrientes,

como o Boro (B) e Zinco (Zn), os quais exigem uma quantidade inferior, mas exerce função intrínseca no desenvolvimento da cultura (ANDRADE, 2017).

Dentre os micronutrientes necessários, o zinco (Zn), tem um importante papel durante a germinação das sementes e no crescimento inicial das plântulas. Sua disponibilidade para as plantas é limitada por várias características do solo que influenciam a sua adsorção. Seu fornecimento às culturas pode ser realizado diretamente no solo, ou por meio de adubação foliar, e, ou ainda por tratamento de sementes (MALAVOLTA et al., 1991).

Ao optar por uma fonte de fertilizante é necessário analisar a solubilidade em água, como é o caso do sulfato de Zn, que é solúvel, contudo, ainda são muito utilizados produtos onde a composição do zinco na formulação é, óxido de Zn, insolúvel em água, o que reduz a eficácia do mesmo (JANEGITZ, 2008).

Para que o seu crescimento ocorra normalmente, as plantas precisam do boro e zinco em quantidades ideais, pois a carência ou toxicidade destes nutrientes desencadeia vários danos em seus processos fisiológicos. Assim, a utilização adequada destes nutrientes pode apresentar melhorias no balanço nutricional da cultura do feijão comum e influenciar diretamente no rendimento dos grãos.

Portanto, antes de plantar a cultura do feijão é necessário ter conhecimento sobre a dinâmica do solo e dos nutrientes ali presentes, visto que a cultura é bastante exigente em nutrientes devido ao seu sistema radicular curto, e do ciclo curto, além do regime hídrico da área, devido à cultura ser suscetível ao stress hídrico, o que pode diminuir bastante a produtividade do feijão caso venha a ocorrer.

Sendo assim, seguindo nesta vertente, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito combinado da aplicação de boro e zinco no crescimento, desenvolvimento e produtividade do feijão-comum irrigado.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultura do Feijão

Há cerca de aproximadamente 40 tipos de feijão (BRASIL, 2008), sendo os principais o preto, o carioca (*Phaseolus vulgaris* L.) e o feijão de corda (*Vigna unguiculata*). Considerando-se apenas o gênero *Phaseolus*, o Brasil é o principal produtor, seguido pelo México (SILVA, 2021).

O feijão é uma cultura pertencente à família *Leguminosae*, sub-família *Papilionoideae*, e do gênero *Phaseolus*. Sendo cultivado na maioria dos países de clima

tropical e subtropical, o que lhe garante uma grande importância na alimentação humana (RESENDE et al., 2012), pois ela constitui a principal fonte de proteínas na dieta alimentar do país, possuindo também papel de destaque na agricultura, no entanto grande parte da produção é obtida através de pequenos produtores que não usam tecnologia agrícola e que tiram parte da produção para seu sustento, vendendo o excedente.

O feijão faz parte da alimentação, sendo um prato indispensável do dia-a-dia dos brasileiros, além de ser uma das principais fontes proteicas. Além disso, é uma leguminosa rica em carboidratos, minerais como ferro, vitaminas e aminoácidos essenciais (PETRY et al., 2015).

O consumo de feijão é menor nos países mais desenvolvidos e em alguns, nem há produção como, por exemplo, a Alemanha. O motivo é que os grandes produtores mundiais também são os maiores consumidores o que gera poucos excedentes exportáveis, limita o conhecimento do mercado e o comércio internacional do produto (CONAB, 2017).

O Brasil se destaca como o 3º maior produtor de feijão comum, ocupando uma área de 3,0 milhões hectares na safra de 2019/2020, resultando em uma produção em torno de 3,02 milhões de toneladas por ano de feijão; os principais estados produtores de feijão no país são: Paraná (21% da produção brasileira) Minas Gerais (19%), Mato Grosso (11%) e Goiás (10%), juntos esses estados respondem por 61% da produção nacional de feijoeiro-comum (CONAB, 2019).

No Brasil podem ser realizadas até três safras durante o ano: a primeira safra, chamada de safra das águas possui o plantio entre os meses de agosto a novembro e colheita de novembro a fevereiro; a segunda safra, chamada de safra da seca, tem o plantio de dezembro a março e colheita de março a junho; e por último, a terceira safra ou safra de inverno, com plantio entre os meses de abril a julho e colheita de julho a outubro (SILVA; WANDER, 2013). As safras das águas e da seca que não levam irrigação suplementar, são responsáveis por 80% da produção mundial.

Em se tratando de valor nutricional, o feijão fornece diversos nutrientes essenciais ao ser humano, representando a principal fonte de proteínas para as populações de baixa renda, quanto ao fornecimento de calorias, o feijão ocupa o terceiro lugar entre os alimentos consumidos, totalizando 11,2% das calorias ingeridas por dia (SOARES, 1996).

O feijão é parte integrante da cesta básica do brasileiro juntamente com outros produtos, o feijão do tipo carioca é o mais cultivado no Brasil, e representa cerca de 70% do consumo do brasileiro sendo apreciado em todas as regiões brasileiras (MAPA, 2015).

O feijão preto é o segundo grão mais consumido, com cerca de 20% de preferência, e possui mais aceitação nos estados do Rio Grande do Sul, Paraná, Rio de Janeiro e parte do Espírito Santo (FARIA et al., 2014). Já os outros tipos, como jalo, rajado, roxo, rosinha, mulatinho, dentre outros, que juntos representam cerca de 10% do consumo, esses têm preferências regionais, atendendo nichos de mercado específicos (DEL PELOSO; MELO, 2005).

Uma grande parte do feijão produzido no Brasil, advindo de pequenos produtores, é destinado ao autoconsumo de suas famílias. Em contrapartida, os mesmos pequenos produtores, destinam parte de sua produção ao mercado. Os preços recebidos pelos produtores, sofrem algumas oscilações, que por vezes têm sido compensadores aos produtores, estimulando os mesmos a se manterem na atividade (SILVA; WANDER, 2013).

Segundo dados estimados, da Embrapa (2018), o consumo médio aparente por pessoa de feijão-comum foi estimado no ano de 2017 em 15 kg/hab/ano, e levando em consideração, as duas últimas décadas, percebe-se uma tendência de queda no consumo aparente per capita, depois de ter chegado a 18,8 kg/hab, em 1996.

2.2. Irrigação no Feijão

A técnica de irrigação tem como função, disponibilizar água às culturas a fim de atender suas exigências hídricas durante todo seu ciclo, permitindo produtividades superiores e produtos de boa qualidade. São gerados inúmeros benefícios quando a técnica é utilizada pelos agricultores, os quais determinam a importância da sua aplicação na agricultura.

A China e Índia lideram o ranking mundial de áreas irrigadas, cada uma possui aproximadamente de 70 milhões de hectares (Mha), seguidos dos EUA (26,7 Mha), do Paquistão (20,0 Mha) e do Irã (8,7 Mha). O Brasil aparece no mesmo grupo de países que incluem a Tailândia, México, Indonésia, Turquia, Bangladesh, Vietnã, Uzbequistão, Itália e Espanha, possuindo área entre 4 e 7 Mha (FAO, 2017).

O Brasil está entre os dez países com maior área irrigada no mundo, desde 1980 a 2017, tem se observado um imenso crescimento da área irrigada brasileira, que passou de 1,9 milhões de hectares para aproximadamente 6,7 milhões de hectares (IBGE, 2017).

Atualmente o Brasil está entre os países com maior percentual de irrigação do planeta, mesmo utilizando uma pequena parte do seu potencial para a atividade (ANA, 2020).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (PENA, 2020), é destinada a agropecuária a maior parte dos recursos hídricos mundiais. A

organização aponta, ainda, que de toda água utilizada cerca de 70% é exclusivamente direcionada à prática de irrigação de lavouras; um número que, no Brasil, chega a 72%.

Segundo Testezlaf (2017), a irrigação por aspersão divide-se em dois sistemas: o sistema convencional, que utiliza os componentes convencionais de aspersão e o sistema mecanizado, conhecidos por se movimentarem através de um trator ou por meio de um sistema automatizado, como o pivô central, além de oferecerem mais tecnologia.

A irrigação localizada por meio de gotejamento subsuperficial é um método eficaz de aplicação de água diretamente no sistema radicular da planta em subsuperfície. Dessa forma, o mesmo tem se sobressaído por patrocinar a diminuição da evaporação da água, aprimorar a eficiência da aplicação dos fertilizantes, diminuir a manifestação de doenças nas partes aéreas das culturas, proporcionar a redução no consumo de insumos químicos e, sobretudo, reduzir a população de plantas infestantes e a acumulação de sais na superfície (ANDRADE JUNIOR et al., 2012).

A eficácia na utilização do sistema de irrigação garante não apenas o retorno financeiro ao irrigante em dano do capital investido para o exercício da atividade produtiva, mas, também o abastecimento urbano e a diminuição de danos ambientais (FURQUIM, 2017).

Quando aplicada em excesso não sendo aproveitada pelas culturas, a água utilizada na área irrigada pode retornar aos corpos d'água superficiais e subterrâneos com sais solúveis e defensivos agrícolas (ANA, 2017), em outras palavras, o desperdício da água na irrigação não é o problema principal, no entanto o produtor precisa sempre ficar atento aos equipamentos empregados na hora de irrigar, com o intuito de evitar perdas de água e de energia elétrica.

Se a deficiência de água na cultura do feijoeiro ocorrer entre o R5 (pré-florescimento) e R7 (formação de vagens), que são as fases de maior exigência pela cultura, ocorrem perdas na produtividade (PORTUGAL et al., 2015). A irrigação adequada de água permite boa distribuição para a cultura do feijoeiro, tanto na quantidade como no período apropriado, atendendo as necessidades da planta em cada estágio fenológico de desenvolvimento que ela se encontra. Entretanto o manejo impróprio pode ocasionar deficiência ou excesso de água, havendo a necessidade de se obter um bom manejo (PORTUGAL, 2015).

A técnica do manejo da irrigação acompanhada ao cultivo em ambiente pode contribuir para o avanço da produtividade e melhoria na qualidade do produto, porém o manejo impróprio do sistema de irrigação pode interferir na produtividade da cultura (VALERIANO et al., 2018).

2.3 Boro na Cultura do Feijoeiro

Devido ao seu curto ciclo, o feijoeiro é uma planta exigente e para que sua produtividade não seja limitada a cultura exige que os nutrientes estejam disponíveis imediatamente (NASCENTE et al., 2012; LACERDA et al., 2019). Em relação aos nutrientes requeridos, um dos micronutrientes absorvidos em maior quantidade pela cultura é o Boro, sendo que a planta exporta cerca de 7,5g de Boro (B) por tonelada de grão (FAGERIA et al., 2014).

As características de crescimento e rendimento de várias culturas são estimuladas através do boro (MAHADULE et al., 2018). O aumento no rendimento de grãos do feijão comum por meio da adubação bórica é conferido pelas funções que o mesmo exerce na planta, como na germinação de grãos de pólen, crescimento do tubo polínico e formação de sementes (MARCHNER, 2012; FAGERIA et al., 2015). Portanto, a utilização apropriada deste nutriente pode acarretar progressos no balanço nutricional da cultura do feijão comum e influenciar diretamente no rendimento do mesmo.

A deficiência por boro é considerada como um dos principais problemas relacionados à limitação da produção, sendo mais grave do que a deficiência dos demais micronutrientes nas culturas agrícolas (KOBAYASHI et al., 2017; WU et al., 2017). Além disso, participa de muitos processos metabólicos, sendo considerado um dos mais importantes micronutrientes para a obtenção de altas produtividades nas culturas (PANDEY; VERMA, 2017).

No Brasil a deficiência do B é uma das mais comuns entre os micronutrientes, sendo que ocorre com maior frequência nos solos de Cerrado (SOUZA; OLIVEIRA; CASTIGLIONI, 2004).

O Boro é um micronutriente primordial, sendo firmemente exigido no decorrer do ciclo de vida das plantas para que possam alcançar crescimento e desenvolvimento apropriados, sendo que a sua deficiência se tornou um problema mundial em áreas agrícolas, visto que o fornecimento insuficiente de B pode ocasionar implicações nos distintos parâmetros físicos e de crescimento, podendo levar à morte das plantas (GUPTA, 2013).

Para evitar problemas relacionados à sua deficiência e suprir as necessidades das plantas, o B é fornecido através da adubação, sendo que o ácido bórico é a fonte mais empregada para o fornecimento desse nutriente (SILVA et al., 2017).

Nas plantas, o B está relacionado com a atividade fisiológica e a sua deficiência, pode acarretar o bloqueio na síntese de clorofila, afetando a atividade fotossintética da planta (YADEGARI, 2016). Na cultura do feijoeiro, a deficiência de B resulta no aborto floral na

porção superior da planta, formação de um sistema radicular fraco, endurecimento e falta de formação adequada de folhas (JANECZEK; KOTECKI; KOZAK, 2004).

A acidez do solo é um dos fatores mais importantes para o controle da disponibilidade de boro no solo, sendo que o pH elevado pode acarretar uma menor disponibilidade de B (EL-DAHSHOURI et al., 2018).

Além disso, a disponibilidade de boro também sofre influência de outros fatores como a atividade da microbiota do solo (SOARES et al., 2008), o teor de matéria orgânica (AZEVEDO et al., 2001; SOARES et al., 2008), a interação entre nutrientes e a demanda nutricional das espécies de plantas (HELLAL et al., 2017).

Quando aplicado em excesso, o B pode causar o acúmulo de sais ou teores tóxicos na solução do solo, comprometendo diretamente o crescimento e acarretando baixas produtividades. Deste modo, é indispensável um manejo apropriado da adubação, pois há uma estreita faixa entre a demanda para o suprimento nutricional e os teores tóxicos (FLORES et al., 2017).

2.4 Zinco na Cultura do Feijoeiro

Devido as suas características proteicas e energéticas, a cultura do feijoeiro tem grande importância na alimentação humana. Dentre os micronutrientes necessários pela cultura, o zinco (Zn), tem um papel importante durante a germinação das sementes e no crescimento inicial das plântulas. Conforme Zano Júnior (2012) o zinco é um cofator estrutural, funcional ou que regula a atividade de muitas enzimas. Estando ligado também diretamente a melhorias nos aspectos agrônômicos, atua na estimulação do crescimento vegetativo e incrementos na produtividade da cultura. (PALMGREN et al., 2008).

Quando a planta se encontra em um ambiente com baixa disponibilidade de zinco, ela começa a modular processos para a regulação e homeostase do zinco. O processo se dá início através da absorção do Zn pela rizosfera, depois ocorre um aumento na expressão genica de enzimas envolvidas na absorção do zinco a partir do solo (van de MORTEL et al., 2006).

A deficiência de Zn pode diminuir a produtividade de grãos, a resistência das plantas às doenças, a síntese proteica, retardar o crescimento, reduzir o tamanho, deformar folhas, diminuir a distância dos entrenós e ainda provocar clorose internerval (MARENCO; LOPES, 2009; BROADLEY et al., 2006).

Graças a sua alta mobilidade no floema a deficiência de Zn é demonstrada na parte nova das plantas, onde na sua ausência ocorre uma brusca redução no tamanho das plantas

com consequente alongamento dos entrenós. Nas folhas a deficiência se manifesta através da redução do tamanho dos folíolos que também apresentam formato de ponta de lança (ROSOLEM; MARUBAYASHI, 1994; TAIZ et al., 2017).

O zinco é absorvido pela planta na forma de íon bivalente (Zn^{2+}), sendo que este entra em contato pela raiz por interceptação radicular, e se move do solo para a planta por meio do fluxo de massa, quelato ou difusão (SADEGHZADEH, 2013). Sendo este transporte preferencialmente feito por meio de difusão (MARSCHNER, 1993).

De acordo com Taiz e Zeiger (2013), o micronutriente zinco contribui para a ativação de algumas enzimas, intensificando a respiração e, desta forma, a produção de ATP para os processos que exigem energia, ainda pode estar associada ao fornecimento de precursores para várias rotas biossintéticas.

Nas plantas, o zinco exerce importante papel na regulação nutricional, crescimento reprodutivo, síntese de clorofila, produção de carboidratos, defesas antioxidativa, síntese proteica, metabolismo de auxinas, e estabilidade do material genético (CLEMENS, 2006). O zinco também é necessário à síntese de alguns aminoácidos, como o triptofano, sendo, este aminoácido, um importante precursor do ácido indolil-acético (AIA) (VÁLIO, 1979), e no desenvolvimento de frutos e sementes (TRIPATHI et al., 2015), pois de acordo com Marschner (2012), ele é essencial no metabolismo do DNA/RNA, na expressão gênica e disposição da cromatina, sendo um constituinte da RNA polimerase na regulação dos ribossomos (Taiz; Zeiger, 2013). De acordo com Marschner (2012) há mais de 300 enzimas com função biológica que contém zinco em sua estrutura.

Apesar de ser um micronutriente essencial ao crescimento e aos processos fisiológicos das plantas (MUNIRAH et al., 2015), quando em níveis elevados, seja no solo ou no tecido vegetal (HOODA, 2010; MUNIRAH et al., 2015), o zinco passa a ser potencialmente tóxico.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização e Descrição da Área Experimental

O experimento foi conduzido em condições de campo, na área experimental do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde - GO. As coordenadas geográficas do local de instalação são 17°48'28" S e 50°53'57" O, com altitude média de 720 m ao nível do mar. O clima da região é classificado conforme Köppen (2013), como Aw (tropical), com chuva nos meses de outubro a maio, e com seca nos meses de junho a setembro. A temperatura média anual possui pequena variação sazonal, apresentando média de 23,8°C, concentrando os

maiores valores no mês de outubro, com 24,5°C, e os menores valores no mês de julho, com 20,8°C. A precipitação pluvial média anual varia entre 1.430 e 1.650 mm, concentrados de outubro a maio, ocasião em que são registradas mais de 80% do total das chuvas e o relevo é suave ondulado (6% de declividade).

3.2 Caracterização do Solo da Área Experimental

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distroférico (LVdf), típico, textura média, fase cerrado (SANTOS et al., 2018). Antes da instalação do experimento, foram realizadas amostragens do solo, na camada de 0,20 m, as quais foram analisadas, conforme metodologias descritas em Teixeira et al. (2017). As características químicas, granulometria e classificação textural estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1- Análise química e granulométrica do solo

Prof. ¹ (m)	Ca	Mg	Ca+Mg	Al	H+Al	K	K	S	P	CaCl ₂
	----- cmol _c dm ⁻³ -----					----- mg dm ⁻³ -----				pH
0,0-0,20	4,3	1,2	5,5	0	2,5	0,17	67	9,9	55,3	5,6
Prof. (m)	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	B	CTC	SB	V%	m%
	----- Micronutrientes (mg dm ⁻³) -----					cmol _c dm ⁻³		Sat. Bases	Sat. Al	
0,0-0,20	0	19,9	9,3	2,95	1,65	0,06	8,2	5,7	69,1	0
Prof. (m)	Textura (g kg ⁻¹)			M.O. ^e	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	Ca/CTC	Mg/CTC	K/CTC
	Argila	Silte	Areia	g dm ⁻³	----- Relação entre bases -----					
0,0-0,20	502	49	449	27,6	3,6	25,3	7,1	0,5	0,2	0,02

¹P (Fósforo) em Mehlich 1; K (Potássio), Na (Sódio), Cu (Cobre), Fe (Ferro), Mn (Manganês) e Zn (Zinco) em Melich 1; Ca (Cálcio), Mg (magnésio) e Al (Alumínio) em KCl 1 mol.L⁻¹; S (Enxofre) em Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol.L⁻¹; M.O. pelo Método colorimétrico; B (Boro): água quente.^aCapacidade de troca catiônica; ^bsoma de bases; ^c saturação de bases; ^d saturação de alumínio; ^eMatéria orgânica; Profundidade (Prof)

3.3 Delineamento da Área Experimental

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, analisado em esquema fatorial 5 × 2, com quatro repetições, totalizando 40 parcelas experimentais. Os tratamentos consistiram em cinco doses de zinco (0, 5, 10, 15 e 20 kg ha⁻¹), foi utilizando sulfato de zinco; e dois níveis de adubação com boro (Com e Sem Boro), utilizando-se ácido bórico. As parcelas experimentais foram constituídas de 7 linhas de 6 m de comprimento e 3,15 m de largura, totalizando 18,90 m². Conforme observado na Figura 1.

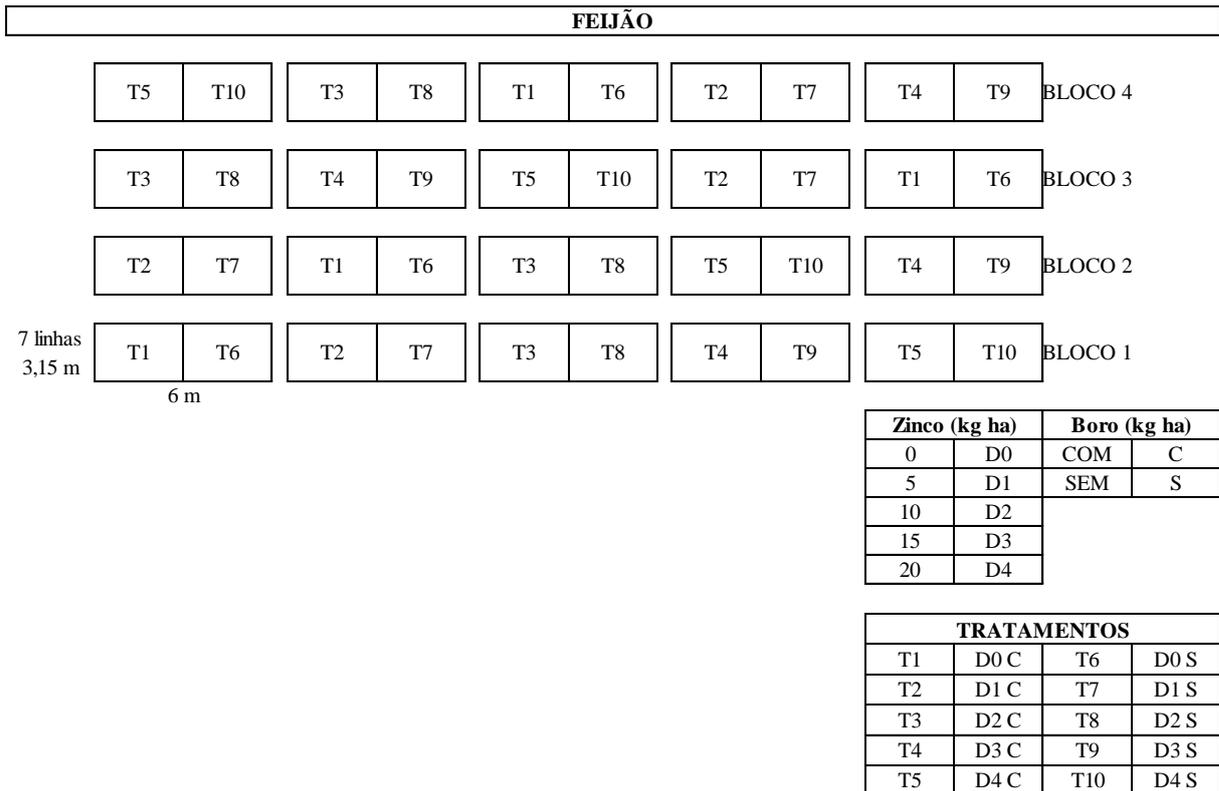


Figura 1. Croqui do experimento.

3.4 Implantação e Condução do Experimento

Foi utilizado um sistema de irrigação por aspersão. A fertirrigação com zinco foi efetuado no estágio fenológico V3/V4 do feijão, aos 29 dias após a emergência (DAE) e com o boro no momento do florescimento (R5), aos 43 dias após a emergência (DAE), a aplicação foi realizada ao amanhecer, por uma hora, quando o sol ainda estava pleno, de acordo com os tratamentos. Para a cultivar do feijão, foi utilizado a cultivar BRS Estilo, que tem um ciclo médio de 92 dias, a planta possui uma altura média de 76 cm, porte ereto, hábito de crescimento indeterminado, peso de mil grãos médio de 251 g, a flor possui cor branca, o grão possui uma cor bege com rajados em marrom claro.



Figura 2. Implantação do experimento.

O plantio foi feito no dia 01/04/2020 com o auxílio de uma plantadeira CERES 221 da marca Stara, no espaçamento de 0,45 m entre linhas, e 8,33 cm entre plantas, resultando num estande final de 266 mil plantas por hectare. A colheita foi realizada no dia 09/07/2020, de forma manual. Portanto o ciclo se encerrou com 99 dias.

A adubação nitrogenada na forma de ureia foi parcelada em dois momentos, no sulco de plantio e em cobertura aplicados aos 20 e 35 dias após a emergência (DAE). Todos os tratamentos foram adubados no sulco de plantio com fósforo (P_2O_5) na forma de superfosfato triplo, também foi utilizado KCl aos 20 dias após a emergência (DAE) e micronutrientes, conforme resultados das análises de solo e segundo recomendações de Sousa e Lobato (2004).



Figura 3. Condução do experimento.

Para monitoramento da umidade do solo foi utilizado sensores capacitivos FDR (Frequency Domain Reflectometry) modelo 10HS, colocados na camada de 0 a 15 cm de profundidade no solo. As leituras foram realizadas diariamente, possibilitando, dessa maneira, a avaliação do consumo hídrico da cultura com relação à lâmina de irrigação aplicada.

3.6 Variáveis analisadas

3.6.1 Variáveis morfológicas

As características morfológicas foram avaliadas aos 50 dias após o plantio, nas linhas centrais de cada parcela, retirando-se três plantas e quantificando-se: altura de plantas (AP), número de entrenós (NE), diâmetro da haste principal (DC), número de trifólios (NTF), massa seca total (MST), número de folhas (NF) e área foliar (AF). O diâmetro foi determinado com o auxílio de um paquímetro na base da planta, e expresso em mm. O número de entrenós, número de trifólios, número de folhas, obtidos pela contagem. A altura de plantas foi medida com o auxílio de uma fita métrica, a partir do nível do solo adotando-se como base para medição, o último nó do ramo apresentado pelas plantas, a área foliar foi determinada medindo-se comprimento e a largura da folha pelo auxílio de uma régua.

O acúmulo de massa seca, foi obtido de três plantas colhidas aos 50 dias nas linhas centrais de cada parcela. Após a retirada das plantas no campo, estas foram pesadas, obtendo-se o peso fresco e após secar em estufa a 65°C durante 48 horas, pesando-se em seguida e obtendo-se o peso seco.



Figura 4. Avaliação das variáveis morfológicas

3.6.2 Variáveis de produtividade

As variáveis de produtividade foram obtidas no momento da colheita, em 5 plantas retiradas das linhas centrais de cada parcela aos 99 dias após o plantio do feijão, foram obtidos o número de grãos (NG), número de grãos por vagem (NGV), número de vagens por planta (NVP), as variáveis número de vagens por planta e número de grãos por vagem, através da contagem, a massa total de grãos foi obtido de cada parcela por meio de balança analítica, retirando-se os grãos de feijão, das plantas de forma manual, em seguida, os grãos foram separados, trilhados e retirada a impureza, logo após foi obtida a produtividade de grãos, através da massa total dos grãos (MG), dados estes expressos em quilogramas por hectare, também foi obtido a produtividade de grãos (PROD) e número de sacas por hectare (SCHA). As plantas foram cortadas rente ao solo e levadas ao laboratório e, em seguida, submetidas à

trilha manual; a umidade dos grãos também foi corrigida para $0,13 \text{ kg ha}^{-1}$ (base úmida), obtendo-se a produção em kg/ha e a produtividade de grãos em sc ha^{-1} .



Figura 5. Avaliação de Variáveis de produtividade

3.6.3 – Índices vegetativos

Os índices vegetativos SPAD e NDVI, foram obtidos aos 50 e 70 DAS, onde no SPAD foi obtido com auxílio do aparelho Minolta SPAD® 502, e o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), foi mensurado utilizando-se um sensor de lavoura portátil Green Seeker (Trimble). As leituras foram realizadas perpendicularmente às linhas de semeadura, numa altura de 50 cm, por caminhamento na parcela.

3.7- Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise da variância pelo teste F ($p < 0,05$), e em casos de significância, foi realizado a análise de regressão para as doses de zinco e o teste de média Tukey ($p < 0,05$) para o fator boro, utilizando o software estatístico R® (R Core Team, 2015).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Pode-se observar que de acordo com a análise de variância não ocorreu diferença nas variáveis de crescimento: diâmetro de caule (DC), altura de planta (ALT), número de entrenós (NE) e massa seca total (MST) do feijão-comum fertirrigado com zinco e boro aos 50 dias após a semeadura (DAS) (Tabela 2).

Tabela 2. Análise de variância do diâmetro de caule (DC), altura de planta (ALT), número de entrenós (NE) e massa seca total (MST) do feijão-comum fertirrigado com zinco e boro, aos 50 DAP

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio ¹			
		DC	ALT	NE	MST
Dose de zinco (DZN)	4	0,30 ^{ns}	51,00 ^{ns}	2,59 ^{ns}	11,19 ^{ns}
Boro (B)	1	0,33 ^{ns}	186,19 ^{ns}	9,02 ^{ns}	5,63 ^{ns}
Interação DZN × B	4	1,09 ^{ns}	20,70 ^{ns}	0,84 ^{ns}	10,81 ^{ns}
Bloco	3	1,65	73,31	5,49	26,43
Resíduo	27	0,53	45,28	2,55	7,76
CV (%)		12,36	18,27	18,83	16,26

^{1ns} não significativo; ** e * significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F.

A aplicação de zinco e boro também não foram significativas ao nível de 5% de probabilidade para as variáveis foliares: índice SPAD, número de trifólios (NTF), número de folhas (NF), área foliar (AF) e NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) do feijão-comum fertirrigado com zinco e boro aos 50 dias após a semeadura (DAS) (Tabela 3).

Tabela 3. Análise de variância do índice SPAD, número de trifólios (NTF), número de folhas (NF), área foliar (AF) e NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) do feijão-comum fertirrigado com zinco e boro, aos 50 dias após a semeadura (DAS), Rio Verde – GO, 2020.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio				
		SPAD	NTF	NF	AF	NDVI
Dose de zinco (DZN)	4	21,03 ^{ns}	2,56 ^{ns}	23,06 ^{ns}	199941,24 ^{ns}	0,007 ^{ns}
Boro (B)	1	6,72 ^{ns}	7,23 ^{ns}	65,03 ^{ns}	4001,00 ^{ns}	0,001 ^{ns}
Interação DZN × B	4	21,09 ^{ns}	20,41 ^{ns}	183,72 ^{ns}	309458,49 ^{ns}	0,005 ^{ns}
Bloco	3	12,33 ^{ns}	77,69 ^{ns}	699,23 ^{ns}	1459534,82 ^{ns}	0,001 ^{ns}
Resíduo	27	18,68	8,97	80,73	208749,96	0,003
CV (%)		10,78	23,26	23,26	48,87	6,58

^{1ns} não significativo; ** e * significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F.

Em seu estudo sobre a associação entre nove doses de adubação com nitrogênio e boro e inoculação no feijoeiro, Silva et al. (2017) também não observaram diferenças significativas entre os tratamentos nas variáveis altura de plantas e números de grãos por vagem.

Para a variável altura de planta, resultados similares ao presente trabalho foram encontrados no estudo de Aguayo et al. (2015) com aplicação foliar de B em etapa de floração da soja onde não alcançaram respostas significativas quanto a esta variável.

Costa (2017) assegura que é bem relevante para os parâmetros de produtividade saber a variável número de entrenós, pois em cada nó presente no caule será formado uma folha trifoliada, além da inflorescência que promove um racimo com vagens.

Benincasa (2003) verificou que conforme o avanço do ciclo da cultura, ocorre a redução da área foliar, provavelmente devido a menor potencialidade da planta em produzir folhas novas e à senescência e queda de folhas.

Daughtry et al. (2000) e Thenkabail et al. (2000), analisando bandas espectrais para caracterizar variáveis biofísicas de culturas agrícolas, encontraram excelentes relações entre índices NDVI e área foliar, na casa entre 82% e 48%.

O boro e o zinco, tem efeito significativo no crescimento e desenvolvimento das plantas, porém, devido à presença significativa no solo de ambos os nutrientes, conforme a Tabela 2 pode ser que seu efeito foi atenuado, ou então pode ser que devido ao tempo curto entre a fertirrigação e a biometria, (7 dias), não tenha surtido efeito para as variáveis apresentadas, justificando, portanto, os resultados aqui encontrados,

Os Resultados encontrados neste trabalho também foram de acordo com os de Menegatti (2017), que também não encontraram diferença a medida que se aumentava a dose de zinco para as variáveis altura de plantas e área foliar.

Trabalhando com doses de zinco, Dorneles (2017) também constatou que independente da concentração de zinco, houve uma diminuição para a variável massa seca total, portanto vai em desacordo com o presente trabalho, onde não houve diferença significativa em relação a aplicação de zinco.

Quando se adicionou zinco aos tratamentos, Teixeira (2004), também não notou diferença significativa para o índice SPAD em plantas de feijoeiro.

Conforme a análise de variância apresentada na Tabela 4 ocorreu efeito significativo da interação entre zinco e boro na cultura do feijão, para as variáveis número de vagens por planta (NVP), massa de grãos (MG), produtividade de grãos (PROD) e número de sacas por hectare (SCHA).

Tabela 4. Análise de variância do número de vagens por planta (NVP), número de grãos (NG), número de grãos por vagem (NGV), massa de grãos (MG), produtividade de grãos (PROD) e número de sacas por hectare (SCHA) do feijão-comum fertirrigado com zinco e boro, Rio Verde – GO, 2020.

Fonte de Variação	GL	Quadrado médio ¹					
		NVP	NG	NGV	MG	PROD	SCHA
Dose de zinco (DZN)	4	8,27 ^{ns}	213,56 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,01 ^{ns}	156532,71 ^{ns}	43,45 ^{ns}
Boro (B)	1	10,92 ^{ns}	763,07 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,01 ^{ns}	218946,83 ^{ns}	60,83 ^{ns}
Interação DZN × B	4	16,51 ^{**}	242,46 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,03 ^{**}	524406,50 ^{**}	145,67 ^{**}
Bloco	3	5,21 ^{ns}	36,19 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,02 ^{ns}	106649,98 ^{ns}	29,61 ^{ns}
Resíduo	27	5,42	187,77	0,18	0,01	82333,54	22,86
CV (%)		15,25	20,64	9,78	12,10	12,15	12,15

^{1ns} não significativo; ^{**} e ^{*} significativo respectivamente a 1% e 5% de probabilidade segundo teste F.

Para o NVP, em função da dose de zinco com e sem a aplicação de boro, pôde-se observar as médias de 15,87 e 14,66 vagens por planta (Figura 6A).

Estudando o rendimento de grãos de feijão comum, com boro aplicado via solos, Flores et al. (2018) e Dahshouri et al. (2017) observaram aumento na produtividade de feijão. Já Castagnel e Silva (2009) analisando a resposta da cultura do feijoeiro adubação foliar com boro constataram o efeito positivo do boro sobre a produtividade, devido ao acréscimo no número de vagens por planta e grãos por vagem.

Quando utilizado o boro (B) na cultura do feijão, o aumento na dose de zinco (DZn) proporcionou aumento na massa de grãos (MG), na ordem de 0,06 kg (12,36%) a cada aumento de 5 kg ha⁻¹ da DZn. Quando não foi efetuada a aplicação do B verificou-se que o feijão produziu uma média de 0,54 kg de MG (Figura 6B).

Trabalhando com doses de zinco no feijão Morais et al. (2021), notaram que o aumento nas doses de zinco do feijão, proporciona incrementos na massa de grãos, produtividade e sacas por hectare. Melo (2019), aplicando 120 kg de P₂O₅ ha⁻¹ associado a 2,0 kg de Zn ha⁻¹ também notou aumentos na produtividade de feijão caupi.

Quando utilizado o boro (B) na cultura do feijão, o aumento na dose de zinco (DZn) proporcionou incremento na produtividade de grãos (PROD) e no número de sacas por hectare (SCHA), na ordem de 242,29 kg ha⁻¹ (12,35%) e 4,03 sc ha⁻¹ (12,35%) a cada aumento de 5 kg ha⁻¹ da DZn. Quando não foi efetuada a aplicação do B o feijão produziu uma média de 2276,62 kg ha⁻¹ e 37,94 sc ha⁻¹ (Figura 6C e 6D).

Portanto, pode-se observar efeito positivo da aplicação do boro, juntamente com o zinco, em que, nesta condição, a dose de 20 kg ha⁻¹ apresentou a maior MG, PROD e SCHA do feijão-comum, na ordem de 0,69 kg, 2.926 kg ha⁻¹ e 48,77 sc ha⁻¹.

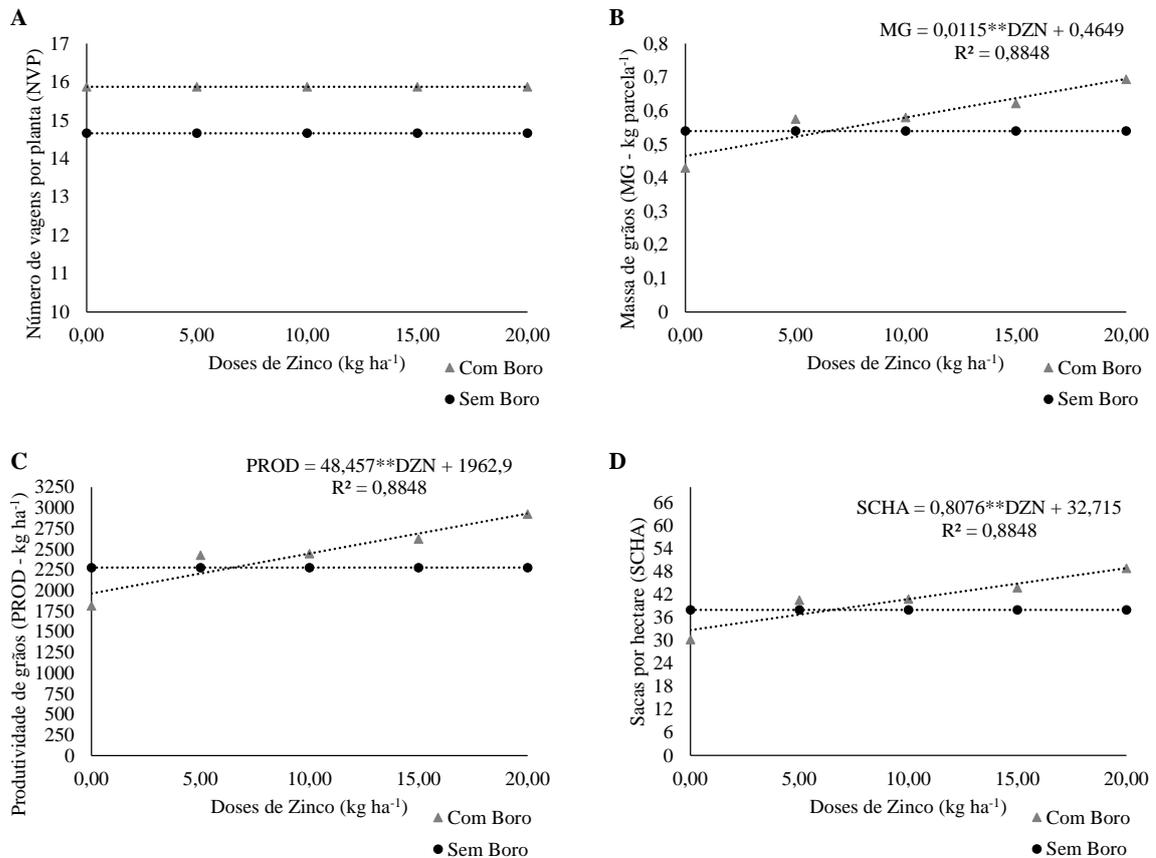


Figura 6. Número de vagens por planta (NVP - A), massa de grãos (MG - B), produtividade de grãos (PROD - C) e número de sacas por hectare (SCHA - D) do feijão-comum em função da fertirrigação com zinco e boro, Rio Verde – GO, 2020.

Há efeito significativo positivo da utilização do boro na cultura do feijão-comum, quando na dose de 10 kg ha⁻¹ de Zn para o NVP, em que a planta de feijão-comum produziu 25,28% mais vagens. Nas doses de 15 e 20 kg ha⁻¹, quando aplicado o boro em R5 no feijão-comum, houve um aumento de 25,80% e 23,18% na MG, 26,48% e 23,32% na PROD e, 26,48% e 23,32% no SCHA, respectivamente (Tabela 5).

O boro é um micronutriente que tem efeito significativo principalmente na parte reprodutiva do feijão, pois atua na divisão e alongamento de tecidos meristemáticos, e no maior número de flores e menor abortamento das mesmas, visto que age diretamente na germinação e alongamento do tubo polínico, conseqüentemente influenciando na formação de sementes e frutos (FURLANI et al., 2003; BRUNES et al., 2015).

Ambrosano et al. (1996) descrevem que quando adicionado na adubação fertilizantes que contenham micronutrientes, entre eles, o boro e o zinco, verifica-se aumento na produtividade de grãos de feijão-comum, cultivado no sistema irrigado. Jamal et al. (2018)

também verificaram que com a aplicação de taxa de 10 kg ha⁻¹ de Zn aumentaram significativamente os rendimentos dos grãos de feijão comum.

Tabela 5. Número de vagens por planta (NVP), massa de grãos (MG), produtividade de grãos (PROD) e número de sacas por hectare (SCHA) do feijão-comum fertirrigado com zinco e boro, Rio Verde – GO, 2020.

Boro	Doses de zinco				
	NVP				
	0	5	10	15	20
C	12,5a	14,07a	19,10a	14,87a	13,73a
S	14,5a	17,07a	14,27b	14,93a	17,60a
	MG				
	NVP				
	0	5	10	15	20
C	0,43b	0,58a	0,52a	0,62a	0,69a
S	0,60a	0,59a	0,58a	0,46b	0,53b
	PROD				
	NVP				
	0	5	10	15	20
C	1812,74b	2427,78a	2446,78a	2624,56a	2926,00a
S	2534,74a	2493,93a	2181,48a	1929,56b	2243,41b
	SCHA				
	NVP				
	0	5	10	15	20
C	30,21b	40,46a	40,78a	43,74a	48,77a
S	42,25a	41,56a	36,36a	32,16b	37,39b

Segundo Gonçalves et al. (2019) os micronutrientes são muito importantes no crescimento e desenvolvimento de plantas cultivadas, apesar de exigidos em menores quantidades. Sendo que, nos solos cultivados brasileiros, as deficiências de micronutrientes frequentemente encontradas são de boro e zinco (TOMICIOLI et al., 2021; GALINDO et al., 2018).

5 CONCLUSÃO

O aumento das doses de zinco associadas com a adição de boro proporcionou aumento linear nas variáveis de massa de grãos, produtividade e sacas por hectares, não foi observado diferença estatística para as variáveis morfológicas.

A fertirrigação com zinco e boro não tem efeito no diâmetro de caule, altura de planta, número de entrenós, massa seca total, índice SPAD, número de trifólios, número de folhas, área foliar e NDVI do feijão-comum aos 50 dias após a semeadura.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUAYO, S.; RASCHE, J. W.; BRITOS, C. S.; KARAJALLO, J. C.; GONZÁLEZ, A. L. Fertilización foliar con Boro en el cultivo de la soja. **Investigación Agraria**, v. 17, n. 2, p. 129- 137, 2015.
- AMBROSANO, E. J.; WUTKE, E. B.; AMBROSANO, G. M. B.; BULISANI, E. A.; BORTOLETTO, N.; MARTINS, A. L. M.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; SORDI, G. Resposta da aplicação de micronutrientes no cultivo de feijão irrigado no inverno. **Sci. agric.** v. 53 n. 2-3 p. 273-279. 1996.
- ANA. Atlas da Irrigação: **Uso da água na Agricultura Irrigada**. Agência Nacional Das Águas (ANA). Brasília, DF: Thiago, 2017. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrigacao-usodaAguanaAgriculturaIrigada.pdf>. Acesso em: 23 de março de 2021.
- ANA. **Quantidade de água**. 2020. Disponível em: www.ana.gov.br. Acesso em: 22 de março de 2021.
- ANDRADE JÚNIOR, A.S.; BASTOS, E.A.; RIBEIRO, V.Q.; DUARTE, J.A.L.; BRAGA, D.L.; NOLETO, D.H. Níveis de água, nitrogênio e potássio por gotejamento subsuperficial em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.1, p. 76-84,2012.
- ANDRADE, L.A.B. de. **Aplicação de fertilizantes fluidos na cultura do feijão**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal de São João Del Rei. Sete Lagoas, 2017.
- AZEVEDO, W. R.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L. A. Adsorção de boro em solos de várzea do Sul de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 7, p. 957-964, 2001.
- BENINCASA, M. P. M. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal: FUNEP, 2003.
- BIZARI, D. R.; MATSURA, E. E.; ROQUE, M. W.; SOUZA, A. L. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria: v.39, p.2073-2079, 2009
- BONETT, L. P. Vidigal, L.G.; CELESTE, M.; Schuelter, R.; FILHO, A.S.V.; GONELA, P.; Lacanallo, G.F. Divergência genética em germoplasma de feijoeiro comum coletado no estado do Paraná, Brasil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 27, n. 04, p. 547-560, 2006.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa, **Regulamento Técnico do Feijão**, D.O.U. 31/03/2008. V. 1, n. 12, 2008.
- BROADLEY, M.R.; WHITE, P.J.; HAMMOND, J.P.; ZELKO, I.; LUX, A. Zinc in plants. **New Phytologist**, v.173, p. 677-702, 2007.
- BRUNES, A.P.; LEMES, E.S.; MENDONÇA, A.O.; OLIVEIRA, S. VILLELA, F.A. Suplementação de boro em diferentes épocas: Efeito no rendimento e na qualidade de

sementes de trigo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 11, n. 2, p. 5-10, 2016.

CALVACHE, M.; REICHARDT, K.; BACHI, O.O.S.; DOURADO NETO, D. Deficit irrigation at different growths tage on commom bean. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, n 54, p. 1-36, 1997.

CASTAGNEL, J.; SILVA, T.R.B. Adubação foliar de boro na cultura do feijão. **Cultivando o Saber, Cascavel**, v. 2, n. 3, p. 7-16, 2009.

CLEMENS, S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. **Biochimie**, Bradford, v.88, p. 1707-1719, 2006.

COELHO, R.G. Considerações sobre as proteínas do feijão. **Revista de Nutrição da PUCCAMP**, Campinas, v.4, n.1/2, p.122-145, 1991.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar - Safra 2018/19**, - Quarto levantamento, Brasília, v.5, n. 4 p. 1- 75, 2019.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Perspectivas para a agropecuária, safra 2017/2018, Produtos de Verão. Brasília**: v. 5, 2017. Disponível em: https://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_09_06_09_30_08_perspectivas_da_agropecuaria_bx.pdf. Acesso em: 13 de fevereiro de 2021.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Perspectivas para a agropecuária**, safra 2017/2018, Produtos de Verão. Brasília: v. 5, 2017.

CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. **R Foundation for Statistical Computing**, Vienna, Austria, 2015.

COSTA JÚNIOR, J. A.; SILVA, M. C.; OLIVEIRA, I. P.; COSTA, F. R.; LIMA JÚNIOR, A. F. Respostas de aplicações de diferentes doses de zinco na cultura do arroz em solos do cerrado. **Revista Eletrônica Faculdade Montes Belos (FMB)**, v. 8, n. 5, p. 59-139, 2015.

COSTA, J. G. C. **Morfologia. Ageitec - Agência Embrapa de Informação Tecnológica, Brasília- DF**, 2017. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/>. Acesso em: 23 de maio de 2021.

DEL PELOSO, M. J.; MELO, L. C. Potencial de rendimento da cultura do feijoeiro comum. Santo Antônio de Goiás: **Embrapa Arroz e Feijão**, p. 131, 2005.

DORNELES, A.O.S. Plantas de *Phaseolus vulgaris* L. Cultivadas sob concentrações crescentes de zinco. **Revista Científica Rural**, Bagé, Rs, v. 19, n. 1, p. 60-69, jan. 2017.

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

EL-DAHSHOURI, M. F.; HAMOUDA, H. A.; ANANY, T. G. Improving seed production of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants as a response for Calcium and Boron. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, v. 19, n. 5, p. 211-219, 2018.

EI-DAHSHOURI, M. F.; HAMOUDA, H. A.; ANANY, T. G. Improving seed production of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants as a response for Calcium and Boron. **Agricultural Engineering International: CIGR Journal**, p. 211-219, 2017.

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Dados conjunturais da produção de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e caupi (*Vigna unguiculata* L.) no Brasil (1985 a 2017): área, produção e rendimento**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2018. Disponível em: <http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>. Acesso em: 28 de março de 2021.

EMBRAPA. **Pesquisa desenvolve hambúrguer de feijão fermentado**. UFG Goiânia: 2018. Disponível em: https://www.agrolink.com.br/noticias/pesquisa-desenvolve-hamburguer-de-feijaofermentado_412521.html?utm_source=agrolinkclipping&utm_medium=email&utm_campaign=-clipping_edicao_6277&utm_content=noticia. Acesso em: 22 de março de 2021.

FAGERIA, N. K., STONE, L. F., SANTOS, A. B., CARVALHO, M. C. S. **Nutrição mineral do feijoeiro**. Embrapa, Brasília, p. 394, 2015.

FAGERIA, N. K.; CARVALHO, M. C. S.; OLIVEIRA, I. P. Calagem e Adubação. In: GONZAGA, A. C. O. (ed. Tec.). **Feijão: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: EMBRAPA, p. 247, 2014.

FAO. **Agricultura irrigada e sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias**. 1. ed. Brasília – DF, p. 243, 2017.

FAOSTAT. **Crops**. 2019. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2021.

FARIA, L. C.; MELO, P.G.S.; PEREIRA, H.S.; WENDLAND, A.; BORGES, S.F.; FILHO, I.A.P.; DIAZ, J.L.C.; CALGARO, M.; MELO, L.C. Genetic progress during 22 years of black bean improvement. **Euphytica**, [S.L.], v. 199, n. 3, p. 261-272, 2014.

FLORES, R. A.; SILVA, R. G.; CUNHA, P. P.; DAMIN, V.; ABDALA, K. 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 leaf boron. **Acta Agric. Scandinava**. v. 67, 697- 704, 2017.

FLORES. R. A.; RODRIGUES, R. A.; CUNHA, P. P.; DAMIN, V.; ARRUDA, E. M.; ABDALA, K. O.; DONEGÁ, M. C. Grain yield of *Phaseolus vulgaris* in a function of application of boron in soil. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 18, n. 1, p. 144-156, 2018.

FURLANI. M.C.; CARVALHO, C.P.; FREITAS, J.G.D; VERDIAL, M.F. Tolerância de cultivares de trigo à deficiência e toxicidade de boro em solução nutritiva. **Scientia Agricola**. v. 60, n. 2, p. 359-370, 2003.

FURQUIM, M. G. D. **Efeito da instituição da cobrança pelo uso da água na configuração agrícola irrigada em Cristalina-GO**. Tese (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 63p., 2017.

GALINDO, F. S.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, W. L.; BOLETA, E. H. M. Effects of Boron (B) doses and forms on boron use efficiency of wheat. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, n. 9, p. 1536-1542, 2018.

GONÇALVES, A. S. F.; OLIVEIRA NETO, S. S. de; MACHADO, G. G. Uso de micronutrientes na agricultura: efeitos e aplicações. **Revista Agronomia Brasileira**, v. 3, n.3, p. 1-4, 2019.

GUPTA, U. C.; JAME, Y. W.; CAMPBELL, C. A.; LEYSHON, A. J.; NICHOLAICHUK, W. Boron toxicity and deficiency: a review. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 65, n. 3, p. 381-409, 1985.

HELLAL, F. A.; EL-SAYED, S. A. A.; EL-NOUR, E. A. A. Boron's Importance in Plant Development and Growth: A Review. **Egyptian Journal of Agronomy**, v.39, p.159 – 166, 2017.

HOODA, P. S. **Trace elements in soils**. London: Wiley, p. 618, 2010.

IBGE.– **Censo Agropecuário 2017**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

JADOSKI, C. J. **Efeitos fisiológicos da piraclostrobina em plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) condicionado sob diferentes tensões de água no solo**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Unesp, Botucatu, 81p., 2012.

JAMAL, A.; KHAN, M. I., TARIQ, M.; FAWAD, M. Response of mung bean crop to different levels of applied iron and zinc. **Journal of Horticulture and Plant Research**, v. 3, p. 13-22, 2018.

JANECZEK, E.; KOTECKI, A.; KOZAK, M. Effect of foliar fertilisation with microelements on common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) development and seed yielding. **EJPAU - Electronic Journal of Polish Agricultural Universities**, Wroclaw, v. 7, n. 1, p.1 - 16, 2004.

JANEGITZ, M. C.; SERRANO, F. B.; HERMANN, E. R.; TURINI, T. A. **Efeito de fontes de zinco no desenvolvimento inicial do milho e feijão**, 2008. Disponível em: http://www.diadecampo.com.br/arquivos/materias/%7BE4D9609C-FF23-4C67-A378-4AD78C0E757E%7D_22_2.pdf. Acesso em: 30 de maio de 2021.

KOBAYASHI, M.; MIYAMOTO, M.; MATOH, T.; KITAJIMA, S.; HANANO, S.; SUMERTA, I. N.; NARISE, T.; SUZUKI, H.; SAKURAI, N.; SHIBATA, D. Mechanism underlying rapid responses to boron deprivation in Arabidopsis roots. **SoilSci. Plant Nutr.** v. 64, p.106 – 115, 2017.

KÖPPEN, W. **Köppen climate classification**. Geography about. 2013. Available in: <http://geography.about.com/library/weekly/aa011700b.htm>. Acesso em: 15 de maio de 2021.

LACERDA, M. C.; NASCENTE, A. S.; PEREIRA, E. T. L. Adubação nitrogenada afeta a produtividade e a qualidade comercial de grãos do feijoeiro em sistema de plantio direto. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 42, n. 2, p. 71-80, 2019.

MAHADULE, P. A.; SALE, R. B.; Effect of foliar sprays of boron on growth, yield, nutrient uptake and quality of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Entisol: A review. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 7, n. 5, p. 74-78, 2018.

MALAVOLTA, E.; BOARETO, A. E.; PAULINO, V. T. **Micronutrientes: uma visão geral**. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C. (Eds.) Micronutrientes na agricultura. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, p.1 - 34, 1991.

MALAVOLTA, E.A.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997.

MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. 2015. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/orgaos/ministerio-da-agricultura-pecuaria-e-abastecimento>. Acesso em: 22 de março de 2021

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, p.889, 2012.

MARSCHNER, H. **Zinc uptake from soils**. In: A.D. ROBSON, (ed.), Zinc in soil and plants. Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, p. 59-77, 1993.

MENEGATTI, R. D.; PEREIRA, A.A.; OLIVEIRA, L.; DORNELES, A.; DUTRA, D. DEUNER, S. Diferentes concentrações de zinco no desenvolvimento de plantas de *Phaseolus vulgaris* L. **Evidência**, v. 17, n. 1, p. 23-32, 2017.

MINOLTA. Camera Co. Ltd., Chlorophyll meter SPAD-502. Instruction manual. Osaka: Minolta Radiometric Instruments Divisions, p. 22, 1989.

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

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

MUNIRAH, N.; KHAIRI, M.; NOZULAI, M.; KHANDAKER, M. M.; MAT, N.; JAHAN, M. The Effects of Zinc Application on Physiology and Production of Corn Plants. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, p. 161-165, 2015.

NASCENTE, A. S.; KLUTHCOUSKI, J.; CRUSCIOL, C. A. C.; COBUCCI, T.; OLIVEIRA, P. Adubação de cultivares de feijoeiro comum em várzeas tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 407-415, 2012.

PALMGREN, M. G.; CLEMENS, S.; WILIAMS, L. KRAMER, U.; BORG, S.; SCHJORRIING, J.K.; SANDERS, D. Zinc biofortification of cereals: problems and solutions. **Trends in Plant Science**. London, v. 13, p. 464-473, 2008.

PANDEY, N. A.; VERMA, P. Boron deficiency and toxicity and their tolerance in plants: a review. **Journal of Global Biosciences**, Amsterdam, v. 6, n. 4, p. 4958- 4965, 2017.

PENA, R. A. **Atividades que mais consomem água**. 2020. Disponível em: <https://brasilescola.uol.com.br/geografia/atividades-que-mais-consomem-agua.htm>. Acesso em: 15 de março de 2021.

PETRY, N.; BOY, E; WIRTH, J. P.; HURREL, R. F. The potential of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as a Vehicle for Iron Biofortification. **Nutrients**, v. 7, p. 1144- 1173, 2015.

PORTUGAL, J. R.; PERES, A. R.; RODRIGUES, R. A. F. **Aspectos climáticos do feijoeiro**. In: ARF, O.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; FERRARI, S. Aspectos gerais da cultura do feijão. 1. Ed. Botucatu: FEPAF, p. 65-7, 2015.

RESENDE, O.; ALMEIDA, D. P.; COSTA, L. M.; MENDES, U. C.; SALES, J. F. Adzuki beans (*Vigna angularis*) seed quality under several drying conditions. **Food Science and Technology**, Campinas-SP v.32, n.1, p.151-155, 2012.

ROSOLEM, C. A.; MARUBAYASHI, O. M. **Seja o doutor do seu feijoeiro**. Arquivo do agrônomo. POTAFOS: Botucatu, v.7, p. 1-16, 1994.

SADEGHZADEH, B. A review of zinc nutrition and plant breeding. **J. SoilSci. PlantNutr**. London, v. 13, p. 905 927, 2013.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P.K.T.; DOS ANJOS, L.H.C.; DE OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; DE ALMEIDA, J.A.; O FILHO, J.C.A.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa, ed. 5. 2018.

SILVA, G.M.B. **Feijão**. Secretaria da Agricultura e Abastecimento. São Paulo: 2021. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/cultur10.pdf> Acesso em: 20 de março de 2021.

SILVA, M. S.; OLIVEIRA, G. R. F.; BOSSOLANI, J. W.; PROENÇA, S. L.; SOARES, D. A.; ROCHA, E. N.; TEIXEIRA FILHO, M. C. M.; SÁ, M. E. Fertilização nitrogenada e boratada associada à inoculação com *Bacillus subtilis* no desempenho agrônômico do feijoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 11, n. 2, p. 116-124, 2017.

SILVA, O. F.; WANDER, A. E. **O Feijão-Comum no Brasil Passado, Presente e Futuro**. Santo Antônio de Goiás, Go:1 Ed. Embrapa Arroz e Feijão, 2013. 60 p. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/961699/1/seriedocumentos287.pdf>. Acesso em: 22 de março de 2021

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

SOARES, A. G. **Consumo e qualidade nutritiva**. In: Reunião nacional de pesquisa de feijão, 5, 1996, Goiânia. Anais... Goiânia: UFGO, v. 2, p. 73-79, 1996.

SOARES, M. R.; CASAGRANDE, J. C.; ALLEONI, R. F. Adsorção de boro em solos ácidos em função da variação do pH. **Rev. Bras. Cienc. Solo**. v. 32, n. 1, p. 111-120, 2008.

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

SOUZA, A.; OLIVEIRA, M. F.; CASTIGLIONI, V. B. R. O boro na cultura do girassol. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 25, n. 1, p. 27-34, 2004.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M.; MOREIRA, J.A.A.; BRAZ A.J.B.P. Evapotranspiração do feijoeiro irrigado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.4, p. 577-582, 2006.

TAIZ L., ZEIGER E. **Plant Physiology**. United Kingdom: Sinauer Associates, p. 782, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. Porto Alegre: Artmed ed. 6, p. 888, 2017.

TEIXEIRA, I. R.; BOREM, A.; AANDRADE, M.J.; GIÚDICE, M.P.D, CECON, P.R. Teores de clorofila em plantas de feijoeiros influenciadas pela adubação com manganês e zinco. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 26, n. 2, p. 147-152, 2004.

TEIXEIRA, P. C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. **Manual de Métodos de Análise de Solo**. ed. 3. Embrapa, Brasília, DF, p. 574, 2017.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: Métodos, Sistemas e Aplicações**. Faculdade de Engenharia Agrícola – UNICAMP. Campinas, p. 17-18, 2017.

THENKABAIL, P.; SMITH, R.B; PAUW, E. Hyperspectral Vegetation Indices and Their Relationships with Agricultural Crop Characteristics. **Remote Sensing Of Environment**, v. 71, n. 2, p. 158-182, 2000.

TOMICIOLI, R. M.; LEAL, F. T.; COELHO, A. P. Limitação da produtividade pela deficiência de boro nas culturas da soja, milho, feijão e café. **South American Sciences**, v. 2, n. 1, p. 1-24, 2021.

TRIPATHI, D. K.; SINGH, S.; MISHRA, S.; CAUHAN, D.K.; DUBEY, N.K. Micronutrients and their diverse role in agricultural crops: advances and future prospective. **Acta Physiol Plant**, v. 37, p. 1-14, 2015.

VALE, F. **Avaliação e caracterização da disponibilidade do boro e zinco contido em fertilizantes**. Tese (Doutorado) – ESALQ, Piracicaba, 91p., 2001.

VALERIANO, T. T. B.; SANTANA, M.J.; JESUS, M.V.; LEITE, L.S. Manejo de irrigação para a alface americana cultivada em ambiente protegido. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**. Nativa, Sinop, v. 6, n. 2, p. 118-123. 2018.

VÁLIO, I. F. M. **Auxinas**. In: FERRI, M. G. Fisiologia Vegetal. E.P.U./EDUSP: São Paulo, 1979, v. 2, p. 39-79.

VAN DE MORTEL, J. E.; VILLANUEVA, L.A.; SCHAT, H.; KWEKKEBOOM, J.; COUGHLAN, S.; MOERLAND, P.D.; THEMAAT, E.V.L.V.; KOORNNEEF, M.; AARTES, M.G.M. Large expression differences in genes for iron and zinc homeostasis, stress response, and lignin biosynthesis distinguish roots of *Arabidopsis thaliana* and the related metal hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. **Plant Physiol**, New York, v. 42, p. 1127 - 1147, 2006.

WU, X.; RIAZ, M.; YIAN, L.; DU, C.; LIU, Y.; JIANG, C. Boron deficiency in trifoliolate orange induces changes in pectin compositions and architecture of components in root cell walls. **Frontiers in Plant Science**. v.1, p. 8, 2017.

YADEGARI, M. Effect of micronutrients foliar application and biofertilizers on essential oils of lemon balm. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, Basel, v. 16, p. 702-715, 2016.

ZANÃO JÚNIOR, L. A. **Importância e função dos nutrientes no crescimento e desenvolvimento de plantas**. In: ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J. A.; ZANÃO JUNIOR, L. A. Efeito da nutrição mineral no controle de doenças de plantas. Viçosa, p. 1-21, 2012.