

FRANCIMALBA FRANCILDA DE SOUSA

**NODULAÇÃO, NUTRIÇÃO, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE DUAS
CULTIVARES DE FEIJÃO-COMUM EM RESPOSTA AO MAGNÉSIO**

BOTUCATU

2021

FRANCIMALBA FRANCILDA DE SOUSA

**NODULAÇÃO, NUTRIÇÃO, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE DUAS
CULTIVARES DE FEIJÃO-COMUM EM RESPOSTA AO MAGNÉSIO**

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp - Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título de
Mestre em Agronomia (Agricultura).

Orientador: Rogério Peres Soratto

BOTUCATU

2021

S725n Sousa, Francimalba Francilda de
Nodulação, nutrição, crescimento e produtividade de duas
cultivares de feijão-comum em resposta ao magnésio /
Francimalba Francilda de Sousa. -- Botucatu, 2021
70 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientador: Rogério Peres Soratto

1. Nutrição de plantas. 2. Fertilidade do solo. 3. Feijão -
Comum. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: NODULAÇÃO, NUTRIÇÃO, CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE DUAS CULTIVARES DE FEIJÃO-COMUM EM RESPOSTA AO MAGNÉSIO

AUTORA: FRANCIMALBA FRANCILDA DE SOUSA

ORIENTADOR: ROGÉRIO PERES SORATTO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ROGÉRIO PERES SORATTO (Participação Virtual)
Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu - UNESP

Prof. Dr. TIAGO ARANDA CATUCHI (Participação Virtual)
Agronomia / Universidade do Oeste Paulista

Prof. Dr. ADALTON MAZETTI FERNANDES (Participação Virtual)
Centro de Raízes e Amidos Tropicais / Universidade Estadual Paulista - UNESP

Botucatu, 30 de julho de 2021

Aqueles que eu amo, em especial aos meus pais
Francilda Severina de Sousa e Manoel Francisco de Sousa
Por confiarem no meu sonho.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus por ser minha fonte inesgotável de força e determinação.

Aos meus amados pais, Francilda Severina de Sousa (Til) e Manoel Francisco de Sousa (Sr. Dita), pelo amor, cuidado e princípios que me foi dado, por mesmo sendo analfabetos, acreditarem no meu sonho de um dia poder estudar, assim como cumprirem com excelência a promessa diária de apoio incondicional na minha educação.

Aos meus oito irmãos e 21 sobrinhos pelo apoio e compreensão perante minha ausência.

Em especial aos meus sobrinhos Douglas e Marcela pelo amor e cuidado comigo, e principalmente pelo presente da minha querida bi sobrinha, ÀGATHA SOPHIE, pela graça dos sorrisos dela todos os dias, por dedicar um tempo a me enviar fotos e vídeos, afim de me acalmar em momentos de aflição e saudade de casa.

Ao meu amado namorado, Vitor, por todo amor, respeito e cuidado comigo durante essa caminhada, a jornada não seria tão empolgante se não tivesse você comigo. Você me inspira diariamente.

Ao meu estimado orientador Professor Dr. Rogério Peres Soratto, por acreditar no meu potencial, pelos ensinamentos, paciência e acima de tudo por cumprir com excelência e profissionalismo a missão que lhe foi dada, deixo aqui toda minha gratidão, respeito e admiração ao senhor. O sentimento é de inspiração.

A Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho” e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Agricultura), pela oportunidade de realização do mestrado e pela excelência e dedicação de seus docentes.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de financiamento 001.

Ao professor Ciro Antônio Rosolem, Juliano Carlos Calonego e Marcelo de Almeida Silva por disponibilizarem os laboratórios e equipamentos necessários para realização de algumas das avaliações deste trabalho.

Ao Centro de Raízes e Amidos Tropicais (CERAT) e ao professor Adalton Mazetti Fernandes por disponibilizar a infraestrutura necessária. Aos funcionários do CERAT Luiz, Danilo, Débora e Juliana pelo apoio, ensinamentos e convivência diária no laboratório.

Aos funcionários do Departamento de Produção e Melhoramento Vegetal, Casimiro Alves, Ciro de Oliveira (Cirinho), Eliane, Iara, Julia, Vinícius e Valéria (Val) pelo apoio na casa de vegetação e nos laboratórios auxiliando nos tratos culturais e inúmeras avaliações realizadas ao longo desta pesquisa.

Aos colegas de pós-graduação, Gislane, Amanda Gilabel, Jéssica Silva, Ana Paula, Anderson Romão, Renan, Tarik, Ivanayra, Gabriella, Amanda Rithielli, Ricardo, Póliton, Andrés Felipe e Jonath, pelo apoio, parceria, companheirismo, amizade, auxílio nos experimentos e principalmente pelas boas risadas durante esse tempo de convivência.

Enfim, agradeço a todos aqueles que participaram direta ou indiretamente em alguma etapa ao longo deste percurso.

Muito obrigada!

RESUMO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma planta exigente em nutrientes devido ao seu sistema radicular se concentrar majoritariamente na camada superficial do solo. Com isso, a planta necessita de nutrientes à disposição no tempo e local adequado. A deficiência de magnésio (Mg) causa a degradação dos cloroplastos, reduzindo a taxa fotossintética, pois afeta diretamente a difusão e a fixação de CO₂ e, conseqüentemente, ocorre prejuízos ao crescimento, desenvolvimento e produção das plantas. Respostas distintas de cada cultivar e o fornecimento adequado de Mg para o feijão-comum podem contribuir para o incremento da produtividade e do valor nutritivo dos grãos. Considerando a necessidade e exigência nutricional do feijoeiro comum, o objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da disponibilidade de Mg no solo no incremento dos parâmetros de nutrição, nodulação, crescimento, partição de fotoassimilados e produtividade em cultivares de feijão-comum, sob condições de casa de vegetação. Foi adotado o delineamento experimental em blocos casualizados, dispostos em esquema fatorial 2×5, com oito repetições, totalizando 80 unidades experimentais. Os fatores em estudo foram duas cultivares de feijão-comum (TAA Dama e IAC 1849 Polaco) e cinco doses de Mg (2,0; 4,5; 6,0; 7,5; e 14,0 mmol_c dm⁻³ de Mg²⁺, fonte MgSO₄) aplicadas via solo. Foram avaliados parâmetros fisiológicos da planta, crescimento vegetativo, teor e acúmulo de nutrientes, componentes de produção, produtividade de grãos e teor de nutrientes nos grãos. As cultivares não responderam de forma diferente aos níveis de Mg²⁺ no solo. O teor e acúmulo de Ca na parte aérea foram reduzidos quando submetidos aos altos níveis de Mg²⁺ no solo. O inverso ocorreu com o K e o P com o aumento do fornecimento de Mg²⁺. A maior disponibilidade de Mg²⁺ no solo contribuiu para o incremento do diâmetro médio das raízes, número e massa seca de nódulos, número de folhas e matéria seca da parte aérea.

Palavras-chave: Adubação; fotossíntese; *Phaseolus vulgaris*; produtividade; nodulação; nutrição vegetal.

ABSTRACT

The common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is a nutrient-demanding plant due to its root system mainly concentrated in the topsoil. Thus, the plant needs nutrients available at the right time and place. Magnesium deficiency causes chloroplast degradation, reducing the photosynthetic rate, as it directly affects the diffusion and fixation of CO₂ and consequently damages the growth, development and production of plants. Different responses of each cultivar and the adequate supply of Mg for common bean can contribute to the increase in productivity and nutritional value of the grains. Considering the need and nutritional requirement of common bean, the objective of this work was to evaluate the effect of Mg availability in the soil on increasing the parameters of nutrition, nodulation, growth, photo assimilate partition and productivity in common bean cultivars, under conditions of greenhouse. The experimental design was randomized blocks, arranged in a 2×5 factorial scheme, with eight replications, totaling 80 experimental units. The factors under study were two common bean cultivars (TAA Dama and IAC 1849 Polaco) and five doses of Mg (2.0; 4.5; 6.0; 7.5; and 14.0 mmol_cdm⁻³ of Mg²⁺, MgSO₄ source) applied via soil. Physiological parameters of the plant, vegetative growth, nutrient concentration and accumulation, yield components, grain yield, and nutrient concentration in grains were evaluated. Cultivars did not respond differently to soil Mg²⁺ levels. Shoot Ca concentration and accumulation were reduced when subjected to high levels of Mg²⁺ in the soil. The opposite occurred with K and P with the increase in the Mg²⁺ supply. High availability of Mg²⁺ in the soil contributed to the increase in the mean diameter of roots, number and dry mass of nodules, number of leaves and shoot dry matter.

Keywords: Fertilization; photosynthesis; *Phaseolus vulgaris*; productivity; nodulation; vegetable nutrition.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Atributos químicos do solo, na profundidade de 0 a 20 cm, na fase de instalação do experimento (análise inicial) e após a finalização do experimento (análise de final do ciclo)	30
Tabela 2 - Índice relativo de clorofila (IRC) nas folhas, avaliado aos 15, 30, 45, 60, 75 dias após a emergência (DAE), em cultivares de feijão-comum em função de níveis de magnésio no solo, em condições de casa de vegetação.....	38
Tabela 3 - Teor de clorofila a, clorofila b, clorofila a + b, relação clorofila a e clorofila b e carotenoides nas folhas diagnoses, avaliados no estágio R6, em cultivares de feijoeiro-comum em função de níveis de magnésio no solo, em condições de casa de vegetação.....	39
Tabela 4 - Eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) (relação fluorescência variável / fluorescência máxima); taxa de assimilação líquida de CO ₂ (A); condutância estomática (gs); concentração interna de carbono (Ci); taxa de transporte de elétrons (ETR); e transpiração (E) avaliados nos estádios R6 e R8, em cultivares de feijoeiro-comum em função de níveis de magnésio no solo, em condições de casa de vegetação.....	40
Tabela 5 - Área foliar (AF), número de folha por planta (NF), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR), comprimento radicular (CR) e superfície radicular (SR) de cultivares de feijoeiro-comum em função de níveis de magnésio no solo, em condições de casa de vegetação.....	42
Tabela 6 – Desdobramento da interação significativa entre cultivares e níveis de magnésio no solo para o diâmetro médio da raiz do feijoeiro-comum, em condições de casa de vegetação.....	43
Tabela 7 - Desdobramento da interação significativa entre cultivares e níveis de magnésio no solo para número de nódulos (NN) e massa de matéria seca de nódulos (MSN) do feijoeiro-comum, em condições de casa de vegetação.....	44

Tabela 8 - Teores dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea de cultivares de feijoeiro-comum em função de níveis de magnésio no solo, em condições de casa de vegetação.....	45
Tabela 9 – Teores dos micronutrientes boro (B), ferro (Fe) e zinco (Zn) na parte aérea de cultivares de feijoeiro-comum em função de níveis de magnésio no solo, em condições de casa de vegetação.....	46
Tabela 10 – Desdobramento da interação significativa entre cultivares e níveis de magnésio no solo para teor de cobre (Cu) e manganês (Mn) na parte aérea do feijoeiro-comum, em condições de casa de vegetação.....	47
Tabela 11 - Teores dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) e dos micronutrientes boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) em raízes de cultivares de feijoeiro-comum em função de níveis de magnésio no solo, em condições de casa de vegetação.....	48
Tabela 12 - Desdobramento da interação significativa entre cultivares e níveis de magnésio no solo para acúmulo total de nitrogênio (N), enxofre (S), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) na planta do feijoeiro-comum, em condições de casa de vegetação.....	51
Tabela 13 - Acúmulo total dos nutrientes fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e boro (B) na planta de cultivares de feijão-comum em função de níveis de magnésio no solo, em condições de casa de vegetação.....	53
Tabela 14 - Componentes de produção: Número de vagem por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), massa de 100 grãos (M100G) e produtividade de grãos por planta de cultivares de feijoeiro-comum (TAA Dama e IAC 1849 Polaco) em função de teores de magnésio no solo, em condições de casa de vegetação.....	56
Tabela 15 - Teor de nutrientes nitrogênio (N), potássio (K), magnésio (Mg), enxofre (S) em grãos de cultivares de feijão-comum em função de níveis de magnésio no solo, em condições de casa de vegetação.....	57

Tabela 16 - Desdobramento da interação significativa entre cultivares e níveis de magnésio no solo para teores de fósforo (P), cálcio (Ca) nos grãos do feijoeiro-comum, em condições de casa de vegetação.....	58
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1	Importância do feijão comum.....	21
2.2	Magnésio no solo e na planta	23
3	MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1	Localização	28
3.2	Delineamento experimental e descrição dos tratamentos	28
3.3	Caracterização das cultivares	28
3.4	Instalação e condução do experimento	29
3.5	Avaliações.....	31
3.5.1	Índice relativo de clorofila nas folhas	31
3.5.2	Avaliações realizadas em R6 e R8	32
3.5.2.1	Pigmentos cloroplastídicos fotossintéticos	32
3.5.2.2	Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a	33
3.5.2.3	Área foliar e número de folhas por planta	34
3.5.2.4	Número e massa de matéria seca da parte aérea	35
3.5.2.5	Número e massa de matéria seca de nódulos	35
3.5.2.6	Crescimento radicular	35
3.5.2.7	Teor e acúmulo de nutrientes na planta.....	35
3.5.3	Avaliações realizadas no final do ciclo	36
3.5.3.1	Componentes de produção	36
3.5.3.2	Produtividade de grãos por planta	36
3.5.3.3	Teor de nutrientes nos grãos.....	36
3.6	Análise estatística	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	Avaliações fisiológicas	37

4.2	Avaliações de crescimento vegetativo	41
4.3	Avaliações nutricionais	44
4.4	Variáveis de produtividade	53
5	CONCLUSÕES.....	59
	REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

O feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é uma das culturas mais produzidas no Brasil e no mundo. A sua importância é devida à segurança alimentar e nutricional baseadas no alto conteúdo proteico dos seus grãos, tornando-o, portanto, uma das principais fontes de proteína da dieta humana, além de ter relevância cultural na culinária de diversos países (BARBOSA; GONZAGA, 2012; ZUCARELI et al., 2015).

O interesse pelo aumento de produtividade do feijoeiro-comum requer o estabelecimento de estratégias de manejo adequado às condições nutricionais da planta, pois esta cultura é extremamente exigente em determinados nutrientes. De acordo com Zucarelli et al. (2011), o ciclo curto e a alta demanda nutricional torna o feijão-comum sensível a determinadas condições de solo e clima em qualquer região.

No Brasil, o feijoeiro-comum é cultivado em solos altamente intemperizados, pobres em nutrientes, como o magnésio (Mg). O Mg é um nutriente essencial, que desempenha papel fundamental na fotossíntese, como ativador enzimático, estando envolvido em vários processos bioquímicos e fisiológicos nos vegetais (CAKMAK; KIRKBY, 2008). Com isso, sua deficiência no solo interfere no crescimento e desenvolvimento das plantas, podendo afetar a produtividade e a qualidade das culturas (HERMANS et al., 2004). Porém, existem poucos estudos sobre o Mg (CAKMAK; YAZICI, 2010), especialmente na cultura do feijão-comum.

As plantas reagem de formas diferentes em relação à deficiência ou ao excesso de Mg. No caso do feijão-comum, os sintomas de deficiência aparecem primeiro nas folhas maduras, apresentando clorose marginal, frequentemente acompanhada pelo desenvolvimento de uma variedade de pigmentos (EPSTEIN; BLOOM, 2006). O feijoeiro-comum tem um sistema radicular relativamente pequeno e superficial (FAGERIA et al., 2011). Neste sentido, recomenda-se que os nutrientes estejam disponíveis no solo em níveis adequados para que a planta expresse todo o seu potencial produtivo (SOUZA et al., 2011). Estudos realizados por Malavolta et al. (1980), com a cv. Carioca, demonstraram que, com a omissão de Mg na solução nutritiva, houve diminuição da produção de matéria seca (MS) das folhas, caule e raízes. O que se confirmou na pesquisa de Prado e Leal (2008), na qual se evidenciou que, na ausência do elemento, a produção de MS das folhas e caule diminuiu, em relação ao tratamento completo.

Além de ter grande influência na fotossíntese, afetando diretamente o crescimento das plantas, o Mg tem papel na mobilização de fotoassimilados dentro da planta, afetando a forma como eles são distribuídos para os órgãos que são drenos e, conseqüentemente, podendo ter influência na nodulação e na fixação biológica do N₂ (FBN), na simbiose entre rizóbios e leguminosas, como é o caso do feijoeiro-comum.

Apesar da importância do Mg para as plantas e sua relação com outros nutrientes, ainda há poucas informações sobre a aplicação de Mg na cultura do feijão-comum no Brasil. Dessa forma, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar a influência da disponibilidade de Mg no solo sobre a nutrição, nodulação, aspectos fisiológicos, crescimento e produtividade de grãos em duas cultivares de feijoeiro-comum, visando maximizar a eficiência produtiva da cultura.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância do feijão-comum

O feijoeiro-comum está entre as espécies cultivadas de maior valor econômico e importância alimentícia, de modo que esta cultura é fonte de proteína, fibra alimentar, amido e minerais como potássio (K), tiamina, vitamina B6 e ácido fólico para o corpo humano (GARDEN-ROBINSON; MCNEAL, 2013). Essa leguminosa também gera subprodutos (caule, folha e vagem seca) que são utilizados na alimentação animal (PIELTAIN et al., 1996). A principal contribuição desses subprodutos é a disponibilidade de energia e aminoácidos quando usados como forragem, misturados com rações ou consumidos crus (SHARASIA et al., 2017).

O feijoeiro-comum é uma planta herbácea, de ciclo anual e pode ser classificada quanto ao hábito de crescimento. No crescimento determinado arbustivo (tipo I), a característica principal é o término do caule com uma inflorescência, já no hábito de crescimento indeterminado, a extremidade do caule possui um meristema vegetativo, permitindo a continuidade do crescimento após o florescimento. Há, ainda, plantas de crescimento indeterminado arbustivo (tipo II), indeterminado prostrado (tipo III) ou indeterminado trepador (tipo IV) (SANTOS et al., 2015).

Entre as principais culturas alimentares, o feijoeiro é a que possui maior variação no hábito de crescimento e nas características da semente, como tamanho, forma, cor e tempo de maturação. Essa variabilidade permite sua produção em ampla diversidade de sistemas e ambientes, podendo ser cultivado nos cinco continentes do globo (SANTOS et al., 2015; DE RON et al., 2015). No Brasil, encontra-se distribuído do norte ao sul e abrange todos os biomas do país (SNAK; SALINAS, 2020). Os principais estados brasileiros produtores de feijoeiro-comum são São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso. (CONAB, 2021). O Estado de São Paulo produziu aproximadamente 110,2 mil toneladas de feijão-comum em uma área de 50,1 mil hectares em 2020 (CONAB, 2021).

No Brasil, o plantio do feijoeiro-comum ocorre em três épocas distintas no mesmo ano, sendo elas: a safra “das águas”, com semeadura de agosto a novembro, com predominância na região Sul; a safra “da seca”, semeada de janeiro a março, abrangendo a maioria dos estados e a safra “de inverno”, semeada de abril a julho, com semeadura realizada principalmente nas regiões Centro-Oeste e Sudeste

(EMBRAPA. 2003). Altas produtividades de feijoeiro-comum podem ser obtidas na terceira safra (safra “de inverno”) por meio do uso de irrigação, de agroquímicos com elevada tecnologia, do manejo racional de fertilizantes, de corretivos e da adoção de cultivares adaptadas à região de cultivo e com elevado potencial produtivo (FARINELLI; LEMOS, 2010).

O crescente aumento populacional nos países em desenvolvimento impõe a demanda pela elevação dos níveis de produtividade (OLIVEIRA et al., 2015). Contudo, os diferentes sistemas de produção de feijão, sejam eles simples e de baixo custo ou altamente tecnificados (PAVEZI et al., 2017), levam a alta variação na produtividade, com valores que permeiam entre 385 até 2.552 kg ha⁻¹ (CONAB, 2021). Essa variação deve-se a diversos fatores, como por exemplo a baixa fertilidade dos solos aliada a falta de adubação mineral adequada, considerados fatores preponderantes na obtenção de baixos rendimentos da cultura (SILVA et al., 2016). A alta exigência nutricional do feijoeiro-comum e seu curto ciclo tornam a cultura altamente demandante em nutrientes que necessitam estar prontamente disponíveis à planta, para que não ocorram limitações à produtividade, sendo, portanto, necessário, efetuar o manejo nutricional adequado à cultura (LACERDA et al., 2019).

As cultivares de feijoeiro-comum também são classificadas quanto à adaptabilidade à região de cultivo, ao potencial produtivo, ao ciclo, à tolerância e resistência às doenças, à resistência a fatores abióticos e a outros atributos, como por exemplo, a eficiência e a resposta aos nutrientes (LEMOS et al., 2015; LEAL et al., 2019), fatores que interferem diretamente na recomendação de cultivar ao produtor. Nesse sentido, deve-se levar em consideração também a qualidade nutricional, proteína bruta, conteúdo de fibras, minerais e vitaminas (CARBONELL et al., 2010; PERINA et al., 2014).

Os programas de melhoramento genético de feijoeiro-comum no Brasil têm dado ênfase à obtenção de cultivares pertencentes aos diversos grupos comerciais, principalmente os do tipo carioca, devido ao mercado criado em nível nacional (TSUTSUMI et al., 2015). A precocidade das cultivares de feijoeiro-comum do tipo carioca é um atributo cada vez mais procurado pelos produtores dessa cultura, devido à economia de água e energia, melhor adequação da época de semeadura e colheita dentro do ano agrícola, além do capital investido ter um retorno com maior rapidez (LEMOS et al., 2015).

O feijoeiro-comum possui uma ampla gama de adaptações e sua produção é muito heterogênea em termos ecológicos, sistema de cultivo e desempenho agrônômico (ALEMU, 2018). Esse desempenho vem na maioria das vezes pelo uso adequado de nutrição mineral, que pode proporcionar o aumento na produtividade da cultura de feijoeiro-comum em relação à média nacional (ROSA, 2018).

No Brasil, a maioria dos solos possui uma reserva de nutrientes insuficiente para suprir à quantidade exigida pelas culturas. Portanto, a adubação é uma prática indispensável para a manutenção da produtividade ao longo dos anos, imprescindível no cultivo de feijão-comum.

Há a necessidade de melhorar o manejo de fertilizantes em função da cultivar utilizada. Ainda que as novas tecnologias promovam o aumento da eficiência dos fertilizantes, a carência do diagnóstico correto acentua o desequilíbrio nutricional associado à redução do potencial produtivo das culturas. Isso se deve tanto ao uso ineficiente das análises de solo, da quase total negligência na adoção e adequada interpretação da análise de tecidos vegetais e, ainda, à aplicação incorreta de conceitos de manejo da fertilidade o solo. No caso do Mg, observa-se a pouca atenção dada ao nutriente, não só na produção agrícola, mas também na produção de pastagens para alimentação animal e até na saúde humana (CAKMAK, 2013; CAKMAK, 2015).

2.2 Magnésio no solo e na planta

Apesar de ser absorvido em quantidades relativamente pequenas pelas plantas, o Mg é considerado um macronutriente essencial, sendo classificado como secundário por alguns autores (DING et al., 2006). A distribuição do Mg no solo pode ocorrer nas formas não-trocável, presente na estrutura dos minerais; na forma trocável, que está adsorvido de forma eletrostática aos coloides minerais e orgânicos do solo, ou como íon livre (Mg^{2+}) na solução do solo (TISDALE; NELSON, 1993). Também pode aparecer como carbonatos insolúveis, em solos calcários, ou em solos que receberam calagem recentemente (VITTI et al., 2006).

A forma que o Mg está presente no solo e sua disponibilidade dependem da textura do solo, conteúdo de matéria orgânica (ambos responsáveis pela capacidade de retenção de cátions no solo), pH e altos níveis de cálcio (Ca), K e amônio (NH_4^+) (TOKARNIA; DÖBEREINER; PEIXOTO, 2000). Segundo Wiend (2007), deve haver

um equilíbrio entre os cátions Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ no solo. Altos níveis de K^+ podem reduzir a absorção de Mg pela planta, devido sua absorção preferencial por K (CANIZELLA, 2014). Conforme Wiend (2007) e Benitis et al. (2010), a disponibilidade de Mg não depende somente do potencial do solo, mas também da proporção que ocupa nos sítios de troca do solo (saturação), pois a membrana plasmática das plantas tem pouca afinidade pelo Mg, podendo este ser suprimido pela presença de outros cátions. Os desequilíbrios entre Mg^{2+} e outros cátions também podem ocasionar deficiência, principalmente em solos calcínicos, onde se apresenta excesso de Ca, ou em solos ácidos, onde a saturação por alumínio limita a absorção de Mg. De acordo com Orlando Filho et al. (1996), a relação entre os nutrientes Ca e Mg na planta está relacionada às suas propriedades químicas, como raio iônico, valência, grau de hidratação e mobilidade, causando competição pelos sítios de adsorção no solo, e na absorção pelas raízes. Como consequência, a presença de um pode prejudicar os processos de adsorção e absorção do outro, fato ocorrente para os íons Ca^{2+} e Mg^{2+} .

Favarin et al. (2013) afirmaram que em solos tropicais, tanto arenosos quanto argilosos, não há fonte de Mg suficiente para atender à demanda das plantas. A mineralização da matéria orgânica do solo também não é uma fonte determinante de Mg, uma vez que a quantidade de Mg varia entre 1 e 2 g kg^{-1} de MS nos resíduos vegetais. De acordo com Malavolta (2006), a necessidade de Mg para um ótimo crescimento das plantas está na faixa de 1,5 a 5 g kg^{-1} da MS da folha diagnóstica. Já em relação à cultura do feijão-comum, a faixa de teores adequada na MS das folhas é de 2,5 a 5,0 g kg^{-1} (RAIJ et al., 1997).

Para que ocorra absorção pelas plantas é necessário que haja contato do elemento Mg com a raiz da planta, seja por interceptação radicular, por difusão ou por fluxo de massa (VITTI et al., 2006). A absorção de Mg^{2+} pelas raízes das plantas ocorre majoritariamente por fluxo de massa, mesmo mecanismo utilizado para absorção do K. Este mecanismo de ação é responsável pelo aumento da proporção do contato dos cátions bivalentes, Ca^{2+} e Mg^{2+} com as raízes (VITTI et al., 2006).

Neste processo, o cátion Mg^{2+} move-se na solução do solo na mesma velocidade de absorção até entrar em contato com a raiz e ser absorvido. A absorção de Mg^{2+} do solo acontece de forma simples, o nutriente é absorvido pelo xilema e a redistribuição para outros órgãos da planta ocorre via floema. A redistribuição se dá principalmente quando o nível de Mg^{2+} no solo é baixo, assim, há o transporte do Mg na planta, passando das folhas velhas para as folhas novas (MARSCHNER, 2012). Por isso, os

sintomas de deficiência de Mg geralmente aparecem primeiro nas folhas mais velhas (EPSTEIN; BLOOM, 2006; PITCHAY; MIKKELSEN, 2018; PRIMAVESI, 2018).

A deficiência de Mg normalmente é observada quando os solos são ácidos ou na presença de desequilíbrio das relações Ca:Mg e Mg:K no solo (BUZETTI et al., 2015). A deficiência pode ocasionar redução da eficiência do ciclo de Calvin e, por consequência, a diminuição da utilização de energia redutora (NADPH), excedendo o nível de saturação do sistema de transporte de elétrons da fotossíntese, o que causa um desequilíbrio no processo da geração de espécies reativas do oxigênio (ERO's) e no sistema de defesa antioxidante da planta (TEWARI et al., 2006; CAKMAK; KIRKBY, 2008).

Silva et al. (2005) destacaram sua importância no crescimento radicular ao estudarem a influência da presença ou ausência do alumínio (Al) sobre raízes de soja em condições controladas. Segundo estes autores, o Mg, quando aplicado em baixas concentrações, é mais eficiente do que o Ca^{2+} para reduzir a rizotoxidez do Al^{3+} , porém, os mecanismos fisiológicos envolvidos no efeito protetor do Mg contra a toxidez do Al^{3+} às raízes ainda não são bem conhecidos.

De acordo com Bose et al. (2011), estes mecanismos de ação do Mg^{2+} ligados à atenuação da toxidez do Al^{3+} estariam relacionados ao aumento da força iônica da solução do solo devido a presença do Mg^{2+} , à redução da saturação de Al^{3+} nos sítios de troca no apoplasto e, ao decréscimo da atividade do Al^{3+} na superfície da membrana plasmática da célula da raiz. Contudo, a necessidade do Mg^{2+} pelas plantas é frequentemente subestimada (KOCH et al., 2019).

Ballicora et al. (2004) e Stitt et al. (2012) ressaltaram que, em casos de deficiência de Mg, ocorre o acúmulo de amido nos cloroplastos das folhas de origem. Isso acontece porque as principais enzimas da síntese de amido, como ADP-glicose pirofosforilase e a fosfoglucomutase localiza-se no cloroplasto e demandam Mg para sintetizar as moléculas de amido. Sua função como co-fator enzimático indica se a concentração de Mg nos cloroplastos permanece adequada ou não, mesmo que as células ao redor dos elementos sejam comprometidas com a condição de baixo Mg (CASPAR et al., 1985). Estudos confirmaram que, com o alto suprimento de Mg, ocorre a diminuição no acúmulo de amido e sacarose nas folhas e o aumento nas suas concentrações nas raízes, o que, conseqüentemente, aumenta a importação de carboidratos na zona de nodulação das leguminosas (PENG et al., 2018).

O Mg é considerado móvel na planta e, atua no controle do pH nas células e no balanço de cargas, além de ser um constituinte de ribossomos e cromossomos (CAMMARANO et al., 1972). Qualquer deficiência deste nutriente resulta em cloroses das folhas (perdas dos teores em clorofila), maturação prejudicada por insuficiência de carboidratos produzidos e uma diminuição acentuada do vigor e produtividade (MAGALHÃES, 2010). Isso ocorre devido às suas funções imprescindíveis e complexas na planta, ao nível da estrutura da clorofila e da síntese proteica (GERENDÁS; FÜHRS, 2013), importância no metabolismo celular e, por extensão, no crescimento e produtividade das culturas (BERGMANN, 1992).

Um dos papéis mais relevantes do Mg na planta é o fato de ser o constituinte central do anel tetrapirrólico das moléculas de clorofila, nos cloroplastos (TATAGIBA et al., 2016), tendo assim um papel crucial na fotossíntese (GERENDÁS; FÜHRS, 2013), notadamente na capacidade de promover as reações de luz no estroma (MAATHUIS, 2009). Está também envolvido nas reações de assimilação de CO₂, sendo que as reações de fotofosforilação que ocorrem nos cloroplastos são afetadas pelos íons Mg²⁺, além de ser um ativador enzimático nessas reações (TATAGIBA et al., 2016).

De acordo com Schubert (1995) e Vargas et al., (2003), a fixação de N em leguminosas é afetada negativamente pelo aumento da acidez do solo, que é uma das causas principais da deficiência de Mg no solo, o que afeta a disponibilidade de Mg para a planta e reduz o número de nódulos radiculares e seu peso seco. Na cultura da soja, o suprimento externo de Mg aumentou o crescimento de nódulos sob condições limitadas de N e, posteriormente, melhorou a fixação de N₂ e o crescimento da planta. A oferta de Mg não alterou a estrutura dos nódulos nem a homeostase do Mg, mas promoveu notável aumento dos nódulos, resultando em um aumento no número de nódulos grandes. Este crescimento de nódulos, promovido pelo Mg, possivelmente é derivado da alteração facilitada pelo Mg na partição de carboidratos e transporte dos mesmos para os nódulos (PENG et al., 2018).

A principal fonte de Mg para a nutrição das plantas é o calcário aplicado para correção da acidez do solo, seu uso ocorre após sua transformação física ou físico-química na indústria (FAVARIN et al., 2013). Os benefícios do uso do calcário como fonte de Mg são obtidos à longo prazo, devido à baixa solubilidade e a mobilidade do Mg no solo, o uso de fontes mais solúveis e com movimentação mais acentuada pode ser fundamental para o adequado fornecimento do nutriente (DIAS, 2015). Porém, há

outras fontes de Mg, como: sulfato de magnésio (16-17% de MgO), óxido de magnésio (91% de MgO), cloreto de magnésio (12,4% de MgO), sulfato de potássio e magnésio (18,6% de MgO) e os termofosfatos magnesianos (11,6% de MgO) (LOPES, 1998). Também pode-se citar fontes de Mg com ausência ou menor conteúdo de cloro (Cl) como é o caso do sulfato duplo de potássio e magnésio ($K_2Mg_2(SO_4)_3$ – 10% de Mg e 16,6% de MgO) e o polisulfato de potássio, cálcio e magnésio ($K_2Ca_2Mg(SO_4)_4 \cdot 2H_2O$) contendo 3,6% de Mg na sua composição.

Conforme estudo realizado por Soratto et al. (2013), cultivares de feijão-comum de ciclo médio absorvem entre 10,2 e 17,9 kg ha⁻¹ de Mg, sendo que entre 3,5 a 7,5 kg ha⁻¹ de Mg são exportados para os grãos. Além disso, esses autores relataram que o período de máxima taxa de absorção de Mg por esses cultivares de feijão-comum ocorreu entre 45 e 60 dias após a emergência (DAE), época coincidente com o intenso crescimento das estruturas reprodutivas. Mesmo sendo absorvido pelo feijão-comum em quantidades relativamente pequenas, quando comparado com outros macronutrientes como nitrogênio (N), K e Ca, o Mg suprido adequadamente é fundamental para que se alcance altas produtividades de grãos (SORATTO et al., 2013). Segundo Canizella (2014), a carência de Mg determina com frequência atraso da fase reprodutiva, diminuição da produção de MS total da planta e maior acúmulo de amido nas folhas de plantas deficientes, ou seja, a produção de grãos e de biomassa será limitada em casos de baixos teores de Mg no solo.

Em sistema plantio direto, Silva et al. (2011), ao estudarem a produtividade de cultivares de feijão em resposta à calagem superficial, verificaram que a aplicação de doses crescentes de calcário (0, 1,8, 3,6, e 5,4 Mg ha⁻¹) resultou em aumento linear na produção do cultivar IAPAR 81, apontando a elevação do teor de Mg no solo de 11,4 para 21,6 mmolc dm³ como um dos fatores desse aumento.

Boaro et al. (1997) observaram aumento da área foliar de feijoeiros-comum em resposta da concentração crescente de Mg no meio de cultivo. No entanto, o incremento ocorreu nas menores concentrações (2,4 mg L⁻¹) e diminuiu em concentrações maiores (24,3 mg L⁻¹). Isto indica que a concentração de Mg deve ser um dos principais fatores avaliados para o fornecimento do nutriente às plantas. No entanto, tem-se a necessidade de informações suficientes relacionadas a disponibilidade de Mg no solo e sua interferência na nutrição, nodulação, crescimento, partição de fotoassimilados e produtividade de grãos em cultivares de feijoeiro-comum recentemente lançados.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Localização

O experimento foi conduzido no ano de 2020, no Departamento de Produção Vegetal da Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA/UNESP, localizada no município de Botucatu-SP (48° 23' W e 22° 51' S; 765 m de altitude). O experimento utilizou vasos com 12 dm³ de capacidade, em casa de vegetação de polipropileno com ambiente controlado e semi-climatizado, possuindo circulador de ar interno e sistema de refrigeração e aquecimento para manter a temperatura na faixa adequada à cultura estudada.

3.2 Delineamento experimental e descrição dos tratamentos

O delineamento experimental foi de blocos casualizados em esquema fatorial 2 × 5. Os tratamentos foram constituídos por duas cultivares de feijão-comum (TAA Dama e IAC 1849 Polaco), combinadas com cinco doses de Mg aplicadas via solo (0, 0,9, 1,4, 2,4 e 5,3 g vaso⁻¹ de Mg), que geraram cinco diferentes teores de Mg²⁺ no solo no final do ciclo (2,0, 4,5, 6,0, 7,5 e 14,0 mmol_c dm⁻³ de Mg²⁺) de acordo com a análise do solo, e oito repetições, totalizando 80 unidades experimentais, sendo que quatro repetições foram desmontadas no estágio fenológico R6 (florescimento pleno), para as avaliações pertinentes, e as outras quatro foram conduzidas até o final do ciclo das plantas. A fonte de Mg utilizada foi o sulfato de Mg monohidratado (kieserita) que contém 15% de Mg e 20% de S. Cada unidade experimental foi formada por um vaso, contendo duas plantas de feijoeiro-comum.

3.3 Caracterização das cultivares

A cultivar IAC 1849 Polaco foi desenvolvida pelo programa de melhoramento do feijão-comum do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC). As plantas da cultivar IAC 1849 Polaco apresentam arquitetura semi-vertical e hábito de crescimento determinado tipo I. O ciclo médio é de 75 dias desde a emergência até a maturação

fisiológica, de acordo com as condições ambientais de cultivo, e considera-se maturação precoce (CHIORATO et al., 2020).

A cultivar TAA Dama é uma variedade tradicional no mercado pertencente ao grupo comercial carioca, possui alta qualidade de grão, com habito de crescimento indeterminado de porte semi-prostrado (tipo III) e ciclo considerado tardio de 85 a 95 dias de alto teto produtivo. É considerada tolerante à chuva durante a colheita. Também possui excelente qualidade comercial, longa durabilidade da cor do grão, com resistência ao mosaico comum e murcha de fusário, moderadamente resistente a crestamento bacteriano e oídio (SEMENTES MARAMBAIA, 2021).

3.4 Instalação e condução do experimento

Uma porção de um Latossolo Vermelho distrófico foi coletada e peneirada (peneira com malha de 4,0 mm) para determinação das características químicas (RAIJ et al., 2001). Com o resultado da análise do solo (Tabela 1), calculou-se a necessidade de calcário calcítico (33,6 % de CaO, 2,7 % de MgO e PRNT de 88%) para elevar a saturação por bases (V) a 70%, conforme a recomendação do IAC (RAIJ et al., 1996). O calcário foi misturado ao solo e, em seguida, este foi incubado com umidade de aproximadamente 80% da capacidade de retenção de água, por um período de 30 dias.

Após a incubação, o solo recebeu aplicação de Mg, de acordo com os tratamentos, bem como adubação com N, P e K nas dosagens de 20, 200 e 200 mg dm⁻³, respectivamente, nas formas de ureia (45% de N em sua composição), superfosfato simples (18% de P; 15% de Ca e 9% de S na sua composição) e cloreto de potássio (58% de K₂O). Também foi utilizada adubação com micronutrientes na dosagem de 20 mg dm⁻³ da fonte (fertil) a qual continha 3% de B; 1% de Cu; 2% de Mn; 0,2% de Mo; 10% de Zn; 1,5% de Ca; 3% de S. Após isso, o solo foi acomodado em vasos.

O fornecimento de água foi realizado periodicamente, avaliando-se a necessidade através da pesagem dos vasos, colocando-se à quantidade suficiente para elevar a 100% da capacidade de campo, sempre que o nível atingiu 80% desta.

Tabela 1 - Atributos químicos do solo, na profundidade de 0 a 20 cm, na fase de instalação do experimento (análise inicial) e após a finalização do experimento (análise de final do ciclo).

Característica do solo	Análise Inicial	Análise no final do ciclo do feijão ^a				
		T1	T2	T3	T4	T5
M.O. (g dm ⁻³)	16	18	17	15	16	17
pH(CaCl ₂)	3,9	5,1	5,2	5,1	5,3	5,2
P (mg dm ⁻³)	1	109	97	105	107	109
K (mmol _c dm ⁻³)	0,6	1,0	1,2	1,4	1,0	1,1
Ca (mmol _c dm ⁻³)	2	41	42	38	34	35
Mg (mmol _c dm ⁻³)	2,0	2,0	4,5	6,0	7,5	14,0
Relação Ca/Mg	1,0	20,5	10,0	6,3	4,5	2,5
Al ³⁺ (mmol _c dm ⁻³)	9	0	0	0	0	0
m (%)	75	0	0	0	0	0
H+Al (mmol _c dm ⁻³)	63	34	33	36	33	36
CTC (mmol _c dm ⁻³)	66	78	81	81	76	86
V (%)	4	56	59	56	56	58
S (mg dm ⁻³)	16	141	132	138	149	136
B (mg dm ⁻³)	0,62	0,39	0,38	0,26	0,17	0,31
Cu (mg dm ⁻³)	0,3	0,7	0,6	0,5	0,6	0,6
Fe (mg dm ⁻³)	14	16	18	16	18	17
Mn (mg dm ⁻³)	1,0	0,8	0,6	0,6	0,6	0,8
Zn (mg dm ⁻³)	0,02	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4

Os tratamentos referem-se a amostras analisadas no final do ciclo, sendo as siglas T1, T2, T3, T4 e T5 referentes, respectivamente, as doses de 0,9, 1,4, 2,4 e 5,3 g vaso⁻¹ de Mg aplicadas antes da semeadura.

As sementes foram submetidas a combinações de tratamentos com o fungicida carboxina + tiram (60 + 60 g do i.a. por 100 kg de semente) e com o inseticida tiametoxam (105 g do i.a. por 100 kg de semente), dois dias antes da semeadura. Foram inoculadas com *Rhizobium tropici* SEMIA 4088, via inoculante sólido nas sementes, na dose de $2,5 \times 10^6$ células semente⁻¹. A mistura foi realizada à sombra, uma hora antes da semeadura. A semeadura foi realizada no dia 27 de abril, utilizando seis sementes por vaso, na profundidade de 2 cm. Aos cinco dias após a emergência (DAE) foi realizado o desbaste deixando apenas duas plantas por vaso.

A adubação nitrogenada de cobertura foi constituída pela aplicação de 60 mg dm⁻³ de N em cobertura no estágio V₄ (três folhas trifoliadas totalmente expandidas, aproximadamente aos 20 dias após emergência). Aos 15 e 30 dias após a primeira aplicação de N em cobertura, foi realizada uma segunda e terceira aplicação de 40 mg dm⁻³ de N, respectivamente, utilizando como fonte a ureia.

Foi realizado controle fitossanitário mediante aplicações com inseticida imidacloprido + beta-ciflutrina (0,5 + 0,063 g do i.a. L⁻¹), clorpirifós (2,4 g do i.a L⁻¹), e imidacloprido + bifentrina (0,5 + 0,1 g do i.a. L⁻¹) recomendadas para o feijoeiro-comum utilizando pulverizador costal. As aplicações foram feitas a partir de R6.

3.5 Avaliações

3.5.1 Índice relativo de clorofila nas folhas

Aos 15, 30, 45, 60 e 75 DAE, foram realizadas leituras indiretas de clorofila, ou seja, do índice relativo de clorofila (IRC), com o aparelho SPAD-502 Plus (Soil and Plant Analysis Development, Minolta Co., Osaka, Japão). Antes de realizar as leituras, o aparelho foi calibrado com o verificador de leitura (“reading checker”) de acordo com as recomendações do manual. Foi tomado o cuidado de não analisar as plantas não sadias (com ataque de pragas e ocorrência de doenças) e atípicas (fora de espaçamento). As determinações foram realizadas no período da manhã (8:00-10:00h), sombreando o aparelho com o corpo para evitar interferência da luz solar. Em cada planta foram realizadas duas leituras por folíolo de cada folha trifoliolada avaliada como diagnóstica (terceira folha trifoliolada completamente expandida a partir do ápice), em todo o limbo, exceto nervuras, somando, assim, seis leituras por parcela, a partir das quais foi calculada a média dos valores de SPAD.

Figura 1 - Leitura do índice relativo de clorofila na folha com o clorofilômetro portátil SPAD-502 Plus.



Foto: Francimalba Francilda de Sousa – 2020

3.5.2 Avaliações realizadas em R6 E R8

3.5.2.1 Pigmentos cloroplastídicos fotossintéticos

Para a quantificação dos teores de pigmentos fotossintéticos foram utilizados dois discos de matéria fresca do limbo foliar de 0,28 cm² de diâmetro cada (Figura 2), retirados de folhas completamente expandidas do oitavo trifólio a partir do ápice, os quais foram acondicionados em frascos envoltos com papel alumínio para proteção contra a luz e, adicionados em 2 mL de acetona e mantidos por 72 horas em ambiente refrigerado para a extração dos pigmentos. Em seguida, foi retirado 1 mL do extrato e diluído em 1 mL de água deionizada para efetuar as leituras de absorbância em espectrofotômetro (Shimadzu, UV-2700, Kyoto, Japão) nos comprimentos de onda 665, 649 e 480 nm, para a determinação das clorofilas *a*, *b* e carotenoides, respectivamente (Figura 2). O cálculo das concentrações das clorofilas *a*, *b* e carotenoides foi baseado em metodologia descrita por Wellburn (1994).

Figura 2 - Coleta dos discos foliares e extrato para determinação dos teores de pigmentos fotossintéticos.



Fotos: Francimalba Francilda de Sousa – 2020

3.5.2.2 Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a

Esses parâmetros foram analisados tanto no estágio R6 (florescimento pleno), quanto no estágio R8 (Enchimento de grão).

Para as análises de trocas gasosas foi utilizado um analisador de gases por infravermelho modelo Li-6400XT com fluorômetro integrado (LI-COR®, EUA). As medidas foram realizadas no horário das 9 às 11 horas da manhã. Todas as medidas foram realizadas com radiação fotossinteticamente ativa constante ($Q = 1200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Foram obtidos dados de assimilação líquida de CO_2 (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$). As avaliações foram realizadas sob variação natural da umidade relativa e da temperatura do ar ao longo do dia. As medidas foram realizadas em folha totalmente expandida, no terço médio das plantas (Figura 3).

As variáveis relacionadas à fluorescência da clorofila a foram obtidas na mesma área da folha e horário em que foram realizadas as medidas das trocas gasosas, com auxílio de fluorômetro acoplado ao IRGA (Figura 4). As variáveis obtidas foram: Eficiência quântica do fotossistema II (PSII) dada pela relação entre fluorescência variável e fluorescência máxima (F_v/F_m), também foi avaliado a Taxa de transporte de elétrons (ETR) através dos rendimentos quânticos efetivos do fluxo linear de elétrons pelo PSII (ϕPSII), da dissipação de energia regulada ($Y(\text{NPQ})$) e da dissipação de energia não regulada ($Y(\text{NO})$) foram calculados de acordo com Genty

et al., (1989). O ϕ PSII foi utilizado ainda para estimar a taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) (BILGER et al., 1995).

Figura 3 - Leituras de trocas gasosas com IRGA.



Fotos: Francimalba Francilda de Sousa

Figura 4 - Planta preparada para leitura de fluorescência da clorofila a



Foto: Francimalba Francilda de Sousa - 2020

3.5.2.3 Área foliar e número de folhas por planta

As plantas foram coletadas no estágio R6 (Florescimento pleno), em seguida as folhas foram retiradas para contagem e leitura de área foliar, sendo a mesma determinada em um integrador de área foliar de bancada (LI-3100C, LI-COR Biosciences, Inc.). Após a determinação da área foliar, as folhas contadas.

3.5.2.4 Número e massa de matéria seca da parte aérea

As folhas e demais estruturas da parte aérea das plantas foram lavadas e secadas separadamente em estufa a 65 °C, por 72 horas, e posteriormente foi determinada a MS de cada estrutura (g planta^{-1}), ou seja, haste e folhas, que constituem a parte aérea.

3.5.2.5 Número e massa de matéria seca de nódulos

As raízes e nódulos foram separados do solo por lavagem em água corrente sobre peneiras. Os nódulos foram separados das raízes e contados. A massa de MS de nódulos foi determinada mediante pesagem, após secagem dos mesmos em estufa a 60 °C por 72 horas.

3.5.2.6 Crescimento radicular

As raízes, após lavadas e separadas, foram acondicionadas em coletor universal, com solução de 30% de álcool + 70% de água e armazenadas em geladeira a temperatura de 4 °C, onde foram mantidos até o momento das avaliações. As avaliações foram realizadas em *scanner*, desenvolvido para este fim, acoplado a um computador dotado do software WinRhizo, que utiliza como princípio ativo a metodologia proposta por Tennant (1975). Neste equipamento, foi determinado o comprimento (cm planta^{-1}), a superfície ($\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$), e o diâmetro médio radicular (mm).

Após as avaliações de crescimento radicular, todo material foi seco separadamente em estufa de circulação forçada a 65 °C, por 72 horas, e em seguida pesado (g planta^{-1}).

3.5.2.7 Teor e acúmulo de nutrientes na planta

As amostras utilizadas para determinação das quantidades de MS em cada órgão da planta (raiz e parte aérea), depois de moídas, foram submetidas à análise dos teores totais de macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Fe, Mn, Zn, Cu), seguindo as metodologias descritas por Malavolta et al. (1997). As quantidades de nutrientes acumuladas foram estimadas multiplicando-se o teor desses nutrientes pela quantidade de massa de MS acumulada em cada órgão da planta. As quantidades

totais de cada nutriente acumulada foram calculadas pela somatória das quantidades de cada nutriente acumulado em cada órgão.

3.5.3 Avaliações realizadas no final do ciclo

3.5.3.1 Componentes de produção

Os componentes de produção foram determinados após a colheita final do experimento, como segue:

-Número de vagens por planta: determinou-se o número de vagens por planta mediante contagem das mesmas em cada planta;

-Número de grãos por vagem: foi obtido pela relação entre número total de grãos e o número total de vagens;

-Massa de 100 grãos (M100G): determinada por meio da pesagem de quatro amostras de 100 grãos, cada uma, em cada unidade experimental. Os dados obtidos foram transformados para 13% de umidade (base úmida).

3.5.3.2 Produtividade de grãos por planta

Para esta avaliação foram colhidos os grãos contidos nas plantas de cada vaso, que posteriormente foram pesados e calculada a produtividade em g planta⁻¹, corrigida para 13% de umidade (base úmida).

3.5.3.3 Teor de nutrientes nos grãos

Amostras de grãos foram secas em estufa de circulação forçada a 65 °C, por 72 horas e em seguida moídas para determinação dos teores de macro (N, P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Fe, Mn, Zn, Cu), seguindo as metodologias descritas por Malavolta et al. (1997).

3.6 Análise estatística

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade no software R Core Team (2020).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Variáveis fisiológicas

Não foi verificada interação significativa entre cultivares e teores de Mg^{2+} no solo para as variáveis fisiológicas avaliadas nesse estudo, as quais englobam IRC (Tabela 2), pigmentos cloroplastídicos fotossintéticos (Tabela 3), trocas gasosas e fluorescência da clorofila a (Tabela 4). Foram verificadas diferenças significativas entre cultivares apenas para as variáveis IRC, clorofila a e clorofila a+b.

Os níveis iniciais de Mg^{2+} presentes no solo eram de $2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, o que aparentemente foi suficiente para atender as necessidades fisiológicas da cultura, pelo menos até o estágio de florescimento pleno (Tabela 2). Ou seja, o incremento dos tratamentos, aliado aos níveis de Mg^{2+} iniciais no solo, disponibilizaram uma maior quantidade do elemento para a planta, porém, esta diferenciação na disponibilidade de Mg^{2+} não fez com que os valores de IRC se diferenciasssem estatisticamente. Aos 15 DAE, a média de IRC para todos os tratamentos foi de 34,34 e quando foi analisada aos 75 DAE a média dos IRC foi de 43,08. Pode-se afirmar que nas duas cultivares, o aumento dos teores de Mg^{2+} resultou em oscilações no IRC quando foi avaliado aos 15 DAE em relação aos 75 DAE, na qual a cultivar TAA Dama respondeu melhor ao aumento do IRC a partir dos 30 DAE, quando comparada a cultivar IAC 1849 Polaco que não apresentou o mesmo. Contudo, houve um aumento de IRC de acordo com as épocas de avaliação nos níveis de Mg analisados, o que corrobora com Canizella (2014), testando doses de Mg em cinco cultivares de feijão-comum em casa de vegetação, verificou que o IRC foi aumentando de acordo com o aumento dos níveis de Mg. Maia et al. (2017) relataram diferentes IRC, ao analisar folhas com diferentes fases fenológicas na cultura do feijão, indicou que diferenças morfofisiológicas, quantidade de pigmento presente e estrutura foliar podem influenciar nos valores obtidos de IRC.

A partir de 30 DAE, a cv. TAA Dama apresentou valores de IRC superiores ao cultivar IAC 1849 Polaco, o que pode estar relacionado a variações na coloração das folhas que existem entre cultivares.

Tabela 2 - Índice relativo de clorofila (IRC) nas folhas, avaliado aos 15, 30, 45, 60, 75 dias após a emergência (DAE), em cultivares de feijão-comum em função de níveis de magnésio no solo, em condições de casa de vegetação.

Tratamento	15 DAE	30 DAE	45 DAE	60 DAE	75 DAE
	SPAD				
Cultivar					
TAA Dama	34,3a	36,6a	42,6a	44,2a	45,2a
IAC 1849 Polaco	34,4a	34,8b	39,8b	41,8b	41,0b
Teor de Mg ²⁺ (mmolc dm ⁻³)					
2,0	34,4a	36,3a	40,9a	43,2a	43,6a
4,5	34,8a	35,7a	40,2a	43,4a	44,0a
6,0	33,8a	35,5a	41,6a	42,3a	42,9a
7,5	34,1a	35,9a	42,3a	44,2a	43,6a
14,0	34,9a	35,4a	41,0a	41,8a	41,3a
Fontes de variação			Valor de P		
Cultivar	0,931	0,001	0,001	0,016	<0,001
Mg	0,508	0,754	0,509	0,526	0,518
Cultivar × Mg	0,056	0,451	0,167	0,621	0,469
CV (%)	3,9	4,0	5,9	7,1	7,7

Médias seguidas de letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Para os teores de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila *a* + clorofila *b* (*a+b*), razão clorofila (*a/b*) e carotenoides também não houve efeito significativo dos níveis de Mg²⁺ (Tabela 3). Segundo Mengel e Kirkby (2001), entre 15 e 20% de todo Mg absorvido pela planta participa como átomo central da molécula de clorofila. De acordo com Marschner (1995), a quantidade de clorofila *a* e *b* é afetada pela deficiência de Mg nas plantas, o que discorda deste trabalho onde não houve um aumento dos teores de clorofila em relação ao aumento das doses de Mg aplicados no solo. A cv. TAA Dama apresentou maiores teores de clorofila *a* e clorofila *a+b*, diferenciando significativamente da cultivar IAC 1849 Polaco. Com isso, mesmo o Mg sendo constituinte da molécula de clorofila, observou-se um efeito neutro dos níveis desse nutriente sobre o teor de clorofila na planta. Este resultado pode estar relacionado à alta mobilidade do nutriente nos vasos condutores de seiva e aos efeitos de diluição descritos por Malavolta (2006) e Fageria et al. (2012). Vale frisar que, apesar do Mg atuar como constituinte e também na síntese da molécula da clorofila, estudos relacionando a essas variáveis são escassos (CAKMAK; YAZICI, 2010), sendo que no caso do feijão-comum, a maioria dos trabalhos na literatura já encontrados são relacionados aos teores de clorofila em função de concentrações foliares de N e produtividade (FURLANI JÚNIOR, 1996; SORATTO et al., 2004; SANT'ANA et al.,

2010). Os teores de carotenoides também não foram afetados pela disponibilidade de Mg no solo (Tabela 3).

Tabela 3 - Teor de clorofila *a*, clorofila *b*, clorofila *a* + *b*, relação clorofila *a* e clorofila *b* e carotenoides nas folhas diagnoses, avaliados no estágio R6, em cultivares de feijoeiro-comum em função de níveis de magnésio no solo, em condições de casa de vegetação.

Tratamento	Clor <i>a</i>	Clor <i>b</i>	Clor <i>a</i> + <i>b</i>	Clor <i>a/b</i>	Carotenoides
ug cm ⁻²					
Cultivar					
TAA Dama	43,2a	31,1a	74,3a	14,4a	9,8a
IAC 1849 Polaco	36,0b	26,4a	62,4b	13,4a	9,9a
Teor de Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)					
2,0	42,4a	27,6a	70,0a	15,4a	10,9a
4,5	34,6a	26,7a	61,3a	13,1a	8,8a
6,0	39,7a	32,2a	71,9a	12,9a	10,6a
7,5	43,2a	29,8a	73,1a	14,4a	10,3a
14,0	38,1a	27,4a	65,5a	13,8a	8,4a
Fontes de variação			Valor de <i>P</i>		
Cultivar	0,017	0,070	0,020	0,143	0,895
Mg	0,342	0,625	0,535	0,158	0,093
Cultivar × Mg	0,909	0,649	0,987	0,088	0,997
CV (%)	22,7	27,1	22,3	15,6	21,7

Médias seguidas de letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

A eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) (relação fluorescência variável / fluorescência máxima), taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), condutância estomática (gs), concentração interna de carbono (Ci), taxa de transporte de elétrons (ETR e transpiração (E), avaliadas no estádios R6 e R8, não foram afetadas pelos fatores estudados ou pela interação entre eles (Tabela 4). Na taxa de assimilação líquida de CO₂ com elevação da disponibilidade de Mg no solo, no teor de 14,0 mmol_c dm⁻³ registrou-se um valor de 15,4 μmol CO₂ m⁻² s⁻¹, o que está de acordo com Malavolta (2006) e Cakmak e Yazici (2010), visto ser este elemento constituinte da molécula da clorofila, que são porfirinas magnesianas, nos quais ficam grande parte acumulados nos tilacóides participando da fotossíntese, respiração, regulação do pH celular, balanço cátion-ânion, absorção iônica e ativação da maioria das enzimas fosforilativas.

Tabela 4 - Eficiência quântica do fotossistema II (Fv/Fm) (relação fluorescência variável / fluorescência máxima); taxa de assimilação líquida de CO₂ (A); condutância estomática (gs); concentração interna de carbono (Ci); taxa de transporte de elétrons (ETR); e transpiração (E) avaliados nos estádios R6 e R8, em cultivares de feijoeiro-comum em função de níveis de magnésio no solo, em condições de casa de vegetação.

Tratamento	Fv/Fm	A	gs	Ci	ETR	E
		$\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$	$\mu\text{mol elétrons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$	$\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$
Estádio R6 (florescimento)						
Cultivar						
TAA Dama	0,86a	14,3a	0,19a	262,0a	109,3a	5,9a
IAC 1849 Polaco	0,84a	14,7a	0,17a	237,4a	110,2a	5,2a
Teor de Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)						
2,0	0,83a	15,3a	0,20a	258,8a	114,0a	5,9a
4,5	0,87a	13,3a	0,15a	231,2a	106,0a	4,9a
6,0	0,86a	14,5a	0,19a	263,6a	107,2a	5,9a
7,5	0,86a	14,8a	0,19a	257,4a	108,9a	5,8a
14,0	0,86a	14,7a	0,17a	237,8a	112,5a	5,2a
Fontes de variação				Valor de P		
Cultivar	0,282	0,635	0,176	0,115	0,861	0,043
Mg	0,609	0,426	0,137	0,591	0,808	0,139
Cultivar × Mg	0,170	0,682	0,541	0,518	0,431	0,611
CV (%)	5,9	14,5	19,7	19,2	14,0	18,3
Estádio R8 (enchimento de vagens)						
Cultivar						
TAA Dama	0,84a	13,7a	0,22a	275,1a	114,4a	5,1a
IAC 1849 Polaco	0,82a	15,1a	0,23a	278,8a	112,3a	5,5a
Teor de Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)						
2,0	0,80a	13,3a	0,21a	266,3a	101,2a	4,8a
4,5	0,84a	14,8a	0,23a	285,3a	123,8a	5,3a
6,0	0,83a	15,1a	0,26a	281,7a	113,7a	5,8a
7,5	0,82a	13,2a	0,23a	279,3a	108,4a	5,4a
14,0	0,83a	15,4a	0,22a	272,2a	119,7a	5,5a
Fontes de variação				Valor de P		
Cultivar	0,426	0,269	0,455	0,769	0,748	0,374
Mg	0,736	0,703	0,817	0,868	0,212	0,656
Cultivar × Mg	0,109	0,457	0,622	0,851	0,377	0,432
CV (%)	6,6	27,2	38,3	14,0	17,9	25,3

Médias seguidas de letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

4.2 Avaliações de crescimento vegetativo

Não foi verificada interação significativa entre os tratamentos para as variáveis de crescimento vegetativo, as quais englobaram, área foliar (AF), número de folha por planta (NF), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR), comprimento radicular (CR) e superfície radicular (SR) (Tabela 5).

Independentemente das cultivares, TAA Dama e IAC 1849 Polaco, não diferiram estatisticamente, houve efeito positivo dos teores de Mg^{2+} no solo nos parâmetros NF e MSPA, em que os maiores valores (10,2 folhas pl^{-1} e 14,0 g pl^{-1} , respectivamente) foram observados no tratamento com 14,0 $mmol_c\ dm^{-3}$ de Mg no solo, em comparação com os menores valores (8,3 folhas pl^{-1} e 12,1 g pl^{-1} , respectivamente) observados no tratamento com a menor disponibilidade de Mg (2 $mg\ dm^{-3}$) (Tabela 5). Contudo, os demais tratamentos de Mg (4,5, 6,0 e 7,5 $mmol_c\ dm^{-3}$) não demonstraram diferença significativa para esses parâmetros. Esses resultados corroboram com resultados obtidos por Boaro et al. (1997), em que afirmaram que há efeitos positivos na produção de MSPA no feijoeiro com aplicação de quantidades elevadas de Mg, o que também foi observado por Ford (1966) e Fageria et al. (1999). Assim, pode-se afirmar que o fornecimento desse nutriente estimulou o crescimento e desenvolvimento da cultura, contribuindo para o aumento do NF e da MSPA das cultivares estudadas, mesmo não tendo afetado os índices fisiológicos, nas épocas avaliadas (Tabelas 2-4). O aumento do NF, desde que não prejudique o sombreamento das culturas, possibilita o aumento da radiação solar interceptada e, conseqüentemente, da taxa fotossintética, resultando em maior acúmulo de matéria seca pelas plantas (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Tabela 5 - Área foliar (AF), número de folha por planta (NF), matéria seca da parte aérea (MSPA), matéria seca da raiz (MSR), comprimento radicular (CR) e superfície radicular (SR) de cultivares de feijoeiro-comum em função de níveis de magnésio no solo, em condições de casa de vegetação.

Tratamento	AF	NF	MSPA	MSR	CR	SR
Cultivar	cm ² pl ⁻¹	folhas pl ⁻¹	— g pl ⁻¹ —		cm pl ⁻¹	cm ² pl ⁻¹
TAA Dama	1251,7a	9,5a	13,6a	2,5a	794,8a	141,5a
IAC 1849 Polaco	1236,7a	9,0a	13,1a	1,8a	898,7a	135,5a
Teor de Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)						
2,0	1253,5a	8,3b	12,1b	2,13a	859,3a	134,6a
4,5	1194,8a	9,1ab	12,8ab	2,25a	845,4a	138,1a
6,0	1127,8a	9,4ab	13,0ab	1,99a	862,6a	138,0a
7,5	1245,6a	9,9ab	13,4ab	2,44a	822,2a	139,3a
14,0	1399,2a	10,2a	14,0a	2,06a	844,5a	142,7a
Fontes de variação	Valor de P					
Cultivar	0,844	0,261	0,933	0,007	0,007	0,535
Mg	0,262	0,028	0,021	0,783	0,955	0,990
Cultivar × Mg	0,444	0,984	0,849	0,789	0,068	0,662
CV (%)	19,2	12,8	8,0	37,7	13,1	21,8

Médias seguidas de letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

A interação dos fatores cultivares de feijão-comum e teores de Mg²⁺ foi significativa em relação ao diâmetro médio de raiz (Tabela 6). Não houve diferença entre os teores de Mg²⁺ no solo para a cv. IAC 1849 Polaco. Já na cv. TAA Dama houve um aumento significativo do diâmetro radicular com o aumento do teor de Mg²⁺ no solo, em que o teor de 14,0 mmol_c dm⁻³ proporcionou o maior valor. Observa-se que até o teor de 6,0 mmol_c dm⁻³ não houve diferença entre as cultivares de feijão-comum, à partir do teor de 7,5 mmol_c dm⁻³ a cv. TAA Dama respondeu melhor em relação a cv. IAC 1849 Polaco, com maior diâmetro médio da raiz. Ao encontrar uma fração de solo rica em nutrientes (como exemplo, o Mg), as raízes de algumas plantas respondem com aumento na taxa de crescimento e ramificação radicular (ROBINSON, 1994). Esta resposta permite que a planta otimize a alocação de recursos, concentrando o crescimento radicular na região do solo (HODGE et al., 1999; ROBINSON et al., 1999).

Tabela 6 – Desdobramento da interação significativa entre cultivares e níveis de magnésio no solo para o diâmetro médio da raiz do feijoeiro-comum, em condições de casa de vegetação.

Teor de Mg^{2+} (mmol _c dm ⁻³)	Diâmetro médio da raiz	
	TAA Dama	IAC 1849 Polaco
	mm	
2,0	0,47Ca	0,49Aa
4,5	0,55Ca	0,51Aa
6,0	0,65BCa	0,54Aa
7,5	1,02Ba	0,58Ab
14,0	1,55Aa	0,59Ab
Fontes de variação	Valor de <i>P</i>	
Cultivar	<0,001	
Mg	<0,001	
Cultivar × Mg	<0,001	
CV (%)	27,3	

Médias seguidas de letras distintas, maiúscula na coluna e minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O número de nódulos (NN) e a massa seca de nódulos (MSN) por planta foram afetados pela interação entre os fatores estudados (Tabela 7). A cv. IAC 1849 Polaco se destacou com maior NN em relação a cv. TAA Dama quando foi submetida a maiores disponibilidade de Mg^{2+} no solo. Os níveis 7,5 e 14,0 mmol_c dm⁻³ de Mg^{2+} não diferiram e foram maiores do que os teores de 2,0 e 4,5 mmol_c dm⁻³ de Mg^{2+} para a cv. IAC 1849 Polaco. Na cv. TAA Dama não houve diferença significativa entre os tratamentos de Mg.

O desdobramento da interação cultivar × Mg para MSN mostrou que, com a aplicação de Mg no solo, a cv. IAC 1849 Polaco também se destacou positivamente em relação a cv. TAA Dama, respondendo com maiores valores de MSN por planta (Tabela 7). O aumento do teor de Mg^{2+} no solo proporcionaram incremento na MSN na cv. IAC 1849 Polaco, onde o maior valor (129,1 mg pl⁻¹) foi obtido no maior teor de Mg^{2+} no solo (14,0 mmol_c dm⁻³). A adição de forma crescente das dosagens de Mg na semeadura aumentou a MSN nas duas cultivares. Döbereiner (1966) afirmou que o aumento do número de nódulos formados é um indicativo de boa eficiência simbiótica, porém, há de se considerar que este parâmetro não pode ser analisado isoladamente, pois na maioria das vezes, a formação de muitos nódulos de tamanho reduzido, pode resultar em redução a eficiência da FBN, visto que o Mg é considerado um nutriente essencial na nutrição e desenvolvimento de *Rhizobium* (NORRIS, 1959). Possivelmente, no presente experimento, o aumento do NN pelo Mg pode ser

atribuído à multiplicação do *Rhizobium* na rizosfera do feijoeiro-comum. O que pode ser explicado pelo trabalho de Peng et al. (2018) em que afirmou que o Mg promove a nodulação da raiz através da facilitação da alocação de carboidratos nas leguminosas. Nos sistemas simbióticos, a deficiência de Mg prejudica o suprimento de carboidratos para os nódulos e interfere negativamente na taxa de fixação do N₂ atmosférico (MARSCHNER, 1995).

Tabela 7 - Desdobramento da interação significativa entre cultivares e níveis de magnésio no solo para número de nódulos (NN) e massa de matéria seca de nódulos (MSN) do feijoeiro-comum, em condições de casa de vegetação.

Teor de Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	NN		MSN	
	TAA Dama	IAC 1849 Polaco	TAA Dama	IAC 1849 Polaco
	nódulos pl ⁻¹		mg pl ⁻¹	
2,0	46,5Aa	49,2Da	52,5Aa	55,6Da
4,5	57,0Aa	65,0CDa	64,4Aa	73,4CDa
6,0	52,2Aa	78,7BCa	59,0Aa	88,9BCa
7,5	61,5Aa	97,8ABa	69,5Aa	110,5ABa
14,0	71,7Ab	114,2Aa	80,9Ab	129,1Aa
Fontes de variação	Valor de P			
Cultivar	<0,001		<0,001	
Mg	<0,001		<0,001	
Cultivar × Mg	0,001		0,001	
CV (%)	14,2		14,2	

Médias seguidas de letras distintas, maiúscula na coluna e minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

4.3 Avaliações nutricionais

Não houve efeito de interação significativa para teores de macro nutrientes avaliados na parte aérea da planta de feijão-comum (Tabela 8). Já quando os tratamentos foram avaliados isoladamente, verificou-se efeito significativo entre as cultivares apenas para os teores de Mg e de S, onde a cv. TAA Dama teve maiores teores de Mg e S, com médias de 7,1 e 3,8 g kg⁻¹, respectivamente. Estes resultados corroboram Fageria et al. (2012), ao relatarem resposta diferencial entre as cultivares de feijoeiro na absorção de nutrientes.

Com relação aos níveis de Mg no solo, foi observado que o seu aumento alterou significativamente os teores de P, Ca, Mg e S na parte aérea da planta (Tabela 8). Verificou-se que essas doses de Mg reduziu os teores de P e Ca na parte aérea da planta e aumentou os teores Mg e S na parte aérea da planta quando aumentou os

níveis de Mg no solo. A redução nos teores desses P, Ca e S pode ter ocorrido devido à realização de calagem anteriormente à instalação do experimento, havendo uma competição na disponibilidade do solo (Tabela 1), apesar do fornecimento do nutriente via aplicação de superfosfato simples (15% de Ca).

Mesmo ocorrendo diferença significativa entre os níveis de Mg, verificou-se que, a média dos teores de P, Ca e S, ficaram dentro ou próximos das faixas consideradas adequadas por Malavolta et al. (1997) e Fageria et al. (2011), para parte aérea das plantas. Enquanto que os teores de N e K ficaram acima dos níveis críticos estabelecidos para parte aérea do feijoeiro, que são de 30 a 50 g kg⁻¹ e 20 a 25 g kg⁻¹, respectivamente. Esse incremento no teor de K pode ser devido a competição entre Mg e K por compostos produzidos metabolicamente, e que, portanto o Mg favoreceu a absorção de K, no entanto em casos de presença de K em concentrações significativas pode ocorrer a redução na absorção de Mg pela planta (Fageria, 1983).

Tabela 8 - Teores dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) na parte aérea de cultivares de feijoeiro-comum em função de níveis de magnésio no solo, em condições de casa de vegetação.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
g kg ⁻¹						
Cultivar						
TAA Dama	54,4a	2,5a	27,8a	24,1a	7,1a	3,8a
IAC 1849 Polaco	51,3a	2,3a	27,3a	24,8a	3,7b	3,2b
Teor de Mg ²⁺ (mmolc dm ⁻³)						
2,0	54,4a	3,0a	25,4a	28,7a	3,9b	2,9bc
4,5	53,0a	2,3b	27,1a	26,9a	4,6b	2,1c
6,0	55,0a	2,3b	30,0a	26,0a	5,7a	2,8bc
7,5	48,9a	2,2b	28,2a	21,0b	6,3a	3,9b
14,0	52,9a	2,2b	27,1a	19,6b	6,3a	5,8a
Fontes de variação	Valor de P					
Cultivar	0,102	0,094	0,647	0,518	<0,001	0,031
Mg	0,277	<0,001	0,069	<0,001	<0,001	<0,001
Cultivar × Mg	0,467	0,262	0,590	0,295	0,649	0,126
CV (%)	11,0	11,8	11,1	12,4	12,9	24,5

Médias seguidas de letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Não houve efeito de interação Mg × cultivares de feijão-comum para os teores de B, Fe e Zn na parte aérea da planta (Tabela 9). Porém, houve efeito isolado do fator cultivar para os teores de Fe e Zn na parte aérea. Assim, observa-se que para o teor

de Fe, a cultivar cv. IAC 1849 Polaco foi superior ($115,4 \text{ mg kg}^{-1}$) a cv. TAA Dama, que teve menor valor do nutriente na parte aérea ($90,8 \text{ mg kg}^{-1}$). Das cultivares avaliadas, no teor de Fe, somente a cv. IAC 1849 Polaco teve maior extração do nutriente no solo, o que equivale a uma diferença estatisticamente significativa sobre a TAA Dama, cultivar menos exigente neste nutriente.

Com relação ao teor de Zn na parte aérea, houve diferença significativa entre as duas cultivares, sendo que a cv. TAA Dama respondeu com valores mais altos quando comparada aos valores absorvidos pela cv. IAC 1849 Polaco (Tabela 9). Isso, possivelmente, se deve a maior ou menor eficiência na absorção, que estão associados a fatores genéticos que podem ter alterado a eficiência de uso dos nutrientes por cada cultivar (BALIGAR et al., 2001).

Tabela 9 – Teores dos micronutrientes boro (B), ferro (Fe) e zinco (Zn) na parte aérea de cultivares de feijoeiro-comum em função de níveis de magnésio no solo, em condições de casa de vegetação.

Tratamento	B	Fe	Zn
	mg kg⁻¹		
Cultivar			
TAA Dama	22,9a	90,8b	58,4a
IAC 1849 Polaco	21,7a	115,4a	54,1b
Teor de Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)			
2,0	20,9a	119,9a	55,3a
4,5	22,0a	111,6a	57,4a
6,0	22,7a	93,7a	57,5a
7,5	23,2a	89,4a	54,3a
14,0	22,6a	100,9a	56,8a
Fontes de variação		Valor de P	
Cultivar	0,246	0,022	0,047
Mg	0,612	0,315	0,838
Cultivar × Mg	0,236	0,588	0,192
CV (%)	13,6	30,9	11,8

Médias seguidas de letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Houve interação entre níveis de Mg e cultivares para as variáveis teores de Cu e Mn na parte aérea (Tabela 10). No caso do teor de Cu na parte aérea, houve uma oscilação nos valores apresentados nas duas cultivares analisadas, com isso, verifica-se que a cv. TAA Dama respondeu com maiores valores de Cu na parte aérea quando foi submetida aos níveis de 6,0 e 14,0 mmol_c dm⁻³ de Mg²⁺ no solo, diferindo estatisticamente do nível 2,0 mmol_c dm⁻³. Já a cv. IAC 1849 Polaco teve maior valor de Cu com 2,0 mmol_c dm⁻³ de Mg no solo em comparação a cv. TAA Dama, que

apresentou seu menor valor absorvido de Cu neste mesmo nível de Mg^{2+} . Verificou-se também que, o aumento dos níveis de Mg^{2+} no solo não afetou estatisticamente o teor de Cu na cv. IAC 1849 Polaco, que diferiu da TAA Dama que respondeu com maiores valores de absorção quando a mesma foi submetida a níveis crescentes de Mg^{2+} no solo.

Já para o teor de Mn na parte aérea, houve diferença estatística entre os níveis de Mg e as cultivares analisadas, por sua vez a cv. TAA Dama quando comparada a cv. IAC 1849 Polaco no nível de $14,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg no solo, apresentou maior teor de Mn na parte aérea da planta ($64,1 \text{ mg kg}^{-1}$) (Tabela 10). Com isso, foi verificado que a cv. TAA Dama respondeu melhor no quesito absorção deste nutriente. Isso se deu possivelmente ao alto teor de ambos os elementos no solo (Tabela 1) aliado à disponibilidade de água, uma vez que, para esses nutrientes, o contato íon-raiz ocorre predominantemente por fluxo de massa (MALAVOLTA, 1980).

Tabela 10 – Desdobramento da interação significativa entre cultivares e níveis de magnésio no solo para teor de cobre (Cu) e manganês (Mn) na parte aérea do feijoeiro-comum, em condições de casa de vegetação.

Teor de Mg^{2+} ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	Cu		Mn	
	TAA Dama	IAC 1849 Polaco	TAA Dama	IAC 1849 Polaco
	mg kg^{-1}			
2,0	6,6Bb	10,1Aa	39,4Aa	48,5Aa
4,5	9,5ABa	8,7Aa	55,3Aa	43,5Aa
6,0	13,4Aa	7,2Ab	27,9Aa	23,5Aa
7,5	9,5ABa	9,8Aa	26,2Aa	49,0Aa
14,0	11,6Aa	8,1Ab	64,1Aa	24,8Ab
Fontes de variação	Valor de P			
Cultivar	0,065		0,362	
Mg	0,485		0,089	
Cultivar $\times$ Mg	0,002		0,029	
CV (%)	23,7		46,6	

Médias seguidas de letras distintas, maiúscula na coluna e minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Não foi observada interação significativa entre Mg $\times$ cultivar para a concentração de nenhum macro e micronutriente da raiz (Tabela 11).

Quando se isolou as variáveis, observou-se que a cv. IAC 1849 Polaco respondeu com maior teor de Mn na raiz em comparação da cv. TAA Dama que teve o menor teor deste nutriente na raiz. Assim como, também foi observado que o teor de Mn

aumentou de acordo com o acréscimo dos níveis de Mg^{2+} no solo, em que o nível de $14,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ se destacou proporcionando maior teor de Mn na raiz da planta.

Tabela 11 - Teores dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S) e dos micronutrientes boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn) em raízes de cultivares de feijoeiro-comum em função de níveis de magnésio no solo, em condições de casa de vegetação.

Tratamento	N	P	K	Ca	Mg	S
Cultivar	g kg^{-1}					
TAA Dama	33,6a	1,6a	23,1a	16,4a	4,0a	2,8a
IAC 1849 Polaco	31,7a	1,7a	24,2a	19,4a	2,7a	2,6a
Teor de Mg^{2+} ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)						
2,0	31,7a	1,4a	23,3a	20,5a	3,0a	2,5a
4,5	33,5a	2,0a	23,1a	18,5a	3,4a	2,7a
6,0	32,5a	1,6a	23,8a	20,1a	3,5a	2,8a
7,5	31,1a	2,2a	24,3a	15,2a	3,5a	2,7a
14,0	34,5a	1,1a	23,7a	15,3a	3,3a	2,8a
Fontes de variação	Valor de P					
Cultivar	0,191	0,481	0,971	0,275	0,720	0,275
Mg	0,299	0,195	0,271	0,995	0,119	0,995
Cultivar $\times$ Mg	0,263	0,995	0,063	0,715	0,170	0,715
CV (%)	5,4	15,2	4,2	26,5	12,4	26,5
Tratamento	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
Cultivar	mg kg^{-1}					
TAA Dama	23,9a	16,6a	113,5a	65,2b	25,3a	
IAC 1849 Polaco	23,4a	16,2a	96,3a	75,0a	29,8a	
Teor de Mg^{2+} ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)						
2,0	25,0a	16,7a	88,9a	59,4c	26,8a	
4,5	25,0a	16,8a	109,0a	64,7bc	23,9a	
6,0	22,4a	15,9a	122,4a	69,5abc	27,0a	
7,5	23,8a	15,5a	92,1a	74,4ab	32,7a	
14,0	21,9a	17,1a	112,2a	82,5a	27,4a	
Fontes de variação	Valor de P					
Cultivar	0,297	0,753	0,382	0,027	0,877	
Mg	0,093	0,227	0,935	0,011	0,493	
Cultivar $\times$ Mg	0,114	0,648	0,355	0,061	0,543	
CV (%)	11,9	16,9	41,6	5,0	23,4	

Médias seguidas de letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Houve interação cultivar $\times$ Mg no solo significativa no acúmulo total de N, S, Fe, Mn, Zn e Cu na planta (Tabela 12). As cultivares apresentaram comportamento diferencial. No acúmulo total de N, pode-se observar que a cv. IAC 1849 Polaco

apresentou valores maiores quando comparada a cv. TAA Dama. Em relação aos níveis de Mg^{2+} no solo, a cv. IAC 1849 Polaco apresentou melhores resultados nos níveis de 4,5, 6,0 e 14,0 $mmol_c dm^{-3}$. Já em relação a cv. TAA Dama teve seu maior acúmulo de N no nível de 14,0 $mmol_c dm^{-3}$, que diferiu apenas do de 2,0 $mmol_c dm^{-3}$.

No acúmulo total de S, verificou-se que teve diferença significativa entre os níveis de Mg^{2+} para a cv. TAA Dama, onde teor de 14,0 $mmol_c dm^{-3}$ proporcionou maior valor de acúmulo de S na planta (Tabela 12). A cv. IAC 1849 Polaco apresentou maiores acúmulos de N com o nível de 14,0 $mmol_c dm^{-3}$ de Mg^{2+} no solo.

Em relação ao acúmulo de Fe, foi observado que a cv. TAA Dama obteve valores maiores comparada a cv. IAC 1849 Polaco, e dentro dos teores de Mg, a mesma respondeu com maior acúmulo no nível de 4,5 $mmol_c dm^{-3}$ de Mg^{2+} no solo, diferindo apenas do nível de 14,0 $mmol_c dm^{-3}$ (Tabela 12) que obteve menor acúmulo deste nutriente. Já a cv. IAC 1849 Polaco teve maior acúmulo de Fe quando exposta ao maior nível (14,0 $mmol_c dm^{-3}$) de Mg no solo, diferindo da cv. TAA Dama, já que, sua menor taxa de acúmulo de Fe na planta ocorreu na maior dosagem de Mg no solo.

O acúmulo de Fe pela planta apresentou valores fora do nível considerado excessivo para a cultura do feijão realizado nesse estudo. Esse aumento pode estar relacionado a diversos fatores, tais como, baixo pH no solo, levando em consideração que o solo usado no presente estudo foi o Latossolo Vermelho distrófico com médias de pH 5,1, sendo considerado solo ácido. Camara (2015) evidencia que em solos ácidos ocorre aumento na disponibilidade de micronutrientes para as plantas, podendo causar fito - toxidez. Isso também pode estar relacionado ao efeito residual do Fe presente nos corretivos aplicados no solo.

O Fe, embora seja um micronutriente essencial para o crescimento e desenvolvimento das plantas, pode, em determinadas condições, ser absorvido e acumulado em concentrações consideradas tóxicas ao metabolismo vegetal (SAHRAWAT, 2004).

No acúmulo de Mn pela planta a cv. IAC 1849 Polaco acumulou maiores valores de respondeu melhor nos níveis de 4,5 e 7,5 $mmol_c dm^{-3}$ apresentando maior taxa de acúmulo de Mn nestes níveis (Tabela 12). Já a cv. IAC 1849 Polaco respondeu melhor no nível de 14,0 $mmol_c dm^{-3}$, a planta respondeu com maior valor de acúmulo de Mn.

Para a variável acúmulo de Zn e Cu na planta de feijão-comum, a cv. IAC 1849 Polaco respondeu com maiores valores destes nutrientes, de modo geral. Na cv. TAA Dama, o maior acúmulo de Zn foi encontrado no nível de 14,0 $mmol_c dm^{-3}$, ou seja,

com o aumento dos níveis de Mg também aumentou o acúmulo total de Zn pela planta de feijão-comum. Contudo mesmo havendo efeito de inibição com o Mg (MOREIRA et al., 2003), a quantidade aplicada do nutriente no solo aparentemente, foi suficiente para suprir a necessidade de Zn da planta. Esses resultados diferem do estudo feito por Moreira (1999) e Heinrichs (2002), com a cultura da soja, onde verificaram que a absorção de Zn diminuía quando se aumentava a concentração de Mg, ou seja, com o aumento na concentração de Mg ocorreu inibição na absorção de Zn, sendo esta absorção do tipo não competitiva.

Já sobre o acúmulo total de Cu na planta, a cv. TAA Dama respondeu com maior valor no nível de $7,5 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ de Mg. Quanto a cv. IAC 1849 Polaco, houve melhores respostas ao acúmulo de Cu com o aumento do nível de Mg^{2+} no solo.

Tais resultados indicam que as duas cultivares, mesmo tendo a mesma base genética, apresentam números diferentes de carregadores específicos para os nutrientes Mg, S, Fe, Mn, Zn e Cu operando nas raízes, o que afeta significativamente a absorção desses nutrientes.

Tabela 12 - Desdobramento da interação significativa entre cultivares e níveis de magnésio no solo para acúmulo total de nitrogênio (N), enxofre (S), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu) na planta do feijoeiro-comum, em condições de casa de vegetação.

Teor de Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	N		S	
	TAA Dama	IAC 1849 Polaco	TAA Dama	IAC 1849 Polaco
	g planta ⁻¹			
2,0	0,638 Bb	0,761 Ba	0,033 BCb	0,048 Ba
4,5	0,728 Ab	0,809 Aa	0,032 Ca	0,033 Ca
6,0	0,719 Ab	0,809 Aa	0,041 BCa	0,044 BCa
7,5	0,741 Aa	0,739 Ba	0,046 Bb	0,084 Aa
14,0	0,759 Ab	0,814 Aa	0,081 Aa	0,092 Aa
Fontes de variação	Valor de P			
Cultivares	<0.001		<0.001	
Mg	<0.001		<0.001	
Cultivar × Mg	<0.001		0.046	
CV (%)	6.829		17.058	
Teor de Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	Fe		Mn	
	TAA Dama	IAC 1849 Polaco	TAA Dama	IAC 1849 Polaco
	mg planta ⁻¹			
2,0	1,532 Ba	1,570 Aa	0,536 Bb	0,643 Ba
4,5	1,770 Aa	1,258 Bb	0,637 Aa	0,613 Ba
6,0	1,573 ABa	1,218 Bb	0,425 Bc	0,617 Ba
7,5	1,618 ABa	1,107 Bb	0,659 Aa	0,549 Cb
14,0	1,236 Cb	1,717 Aa	0,531 Bb	0,905 Aa
Fontes de variação	Valor de P			
Cultivares	<0.001		<0.001	
Mg	<0.001		<0.001	
Cultivar × Mg	<0.001		<0.001	
CV (%)	18.708		10.222	
Teor de Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)	Zn		Cu	
	TAA Dama	IAC 1849 Polaco	TAA Dama	IAC 1849 Polaco
	mg planta ⁻¹			
2,0	0,683 Cb	0,717 Ca	0,147 ABa	0,118 Ba
4,5	0,713 BCb	0,849 Aa	0,135 ABb	0,176 Aa
6,0	0,739 Bb	0,850 Aa	0,110 Bb	0,221 Aa
7,5	0,746 Ba	0,756 Ba	0,171 Aa	0,165 ABa
14,0	0,833 Aa	0,862 Aa	0,139 ABb	0,216 Aa
Fontes de variação	Valor de P			
Cultivares	<0.001		<0.001	
Mg	<0.001		0.05	
Cultivar × Mg	<0.001		<0.001	
CV (%)	10.806		8.016	

Médias seguidas de letras distintas, maiúscula na coluna e minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey (p≤0,05).

Não houve diferença significativa da interação entre níveis de Mg × cultivares de feijão-comum sobre as variáveis: acúmulo total de P, K, Ca, Mg e B na planta (Tabela 13).

Houve diferença significativa para o fator cultivares de feijão-comum no acúmulo de Mg e B. A cv. IAC 1849 Polaco respondeu com maiores valores na taxa de acúmulo desses nutrientes na planta. De acordo com a análise de solo (Tabela 1) o teor disponível destes macronutrientes foi suficiente para atender a demanda das cultivares estudadas. O que demonstra novamente as diferenças entre as variedades existentes entre as cultivares de feijão-comum na disponibilização, absorção e remobilização dos nutrientes nas plantas (FAGERIA et al., 2012).

Quando se verificou o fator Mg isoladamente, pode-se observar que o parâmetro K respondeu de forma positiva aumentando o acúmulo de K na planta com o aumento do teor de Mg no solo. É importante frisar que é desconhecido a ocorrência de interação negativa da presença de Mg^{2+} na absorção do K^+ , sabe-se que existe um antagonismo reação na absorção de K em relação a Mg (Senbayram et al., 2015), já que o K^+ pode atravessar a membrana plasmática com maior velocidade, e sua absorção ser mais eficiente com a presença de Mg no solo. A absorção preferencial do íon K^+ ocorre por este ser monovalente e de menor grau de hidratação quando comparado aos bivalentes, como no caso do Mg^{2+} (PRADO, 2008). Neste caso, a significância se deve, possivelmente, a aplicação em cobertura com K, na qual deve ter ajudado no processo de assimilação deste nutriente pelas plantas, quando expostas as doses crescentes de Mg^{2+} no solo.

Já no caso do Ca ocorreu ao contrário, quanto maior foi o teor de Mg disponível no solo menor foi o acúmulo de Ca pelas plantas de feijão-comum (Tabela 13). Na absorção, o Mg e o Ca comportam-se de modo competitivo, o antagonismo entre esses nutrientes implica que o excesso de um desses elementos resulta em menor absorção do outro (EPSTEIN, 1975) dando como resultado, quedas no crescimento e na produção (ROSOLEM et al. 1984).

Oliveira e Parra (2003) avaliando a relação entre cálcio e magnésio na CTC de Latossolos cultivados com feijoeiro, constataram que não houve resposta das plantas às variações na relação Ca:Mg do solo, tanto no rendimento de massa da matéria seca no estágio de florescimento, quanto na produção de grãos, não permitindo o estabelecimento de uma relação Ca:Mg mais apropriada para o cultivo desta espécie no solo. Essa elevação nos teores de Ca e Mg em função dos níveis de Mg pode estar

relacionado a adição de calcário durante o experimento como corretivo do pH do solo estudado. O aumento do pH do solo por meio da calagem promoveu disponibilidade tanto de Ca e Mg no solo em função dos tratamentos de Mg, por sua vez, incrementando o acúmulo desses macro nutrientes na planta de feijoeiro.

Quanto ao acúmulo de Mg e B, no fator Mg, houve um aumento parecido com o K, quanto maior foi o teor de Mg disponível no solo, maior foi o acúmulo destes nutrientes na planta. Apesar de a calagem diminuir a disponibilidade de B para a planta, pode-se verificar incremento deste nutriente no acúmulo total do mesmo na matéria seca da planta com o emprego dos níveis de Mg, possivelmente esse aumento esteja relacionado ao efeito de diluição em relação ao B. Silva et al. (2007) encontraram resultados semelhantes para alguns cultivares de feijoeiro, sendo a explicação relacionada com a redução da disponibilidade de B sob condição de calagem (DECHEN; NACHTIGALL, 2006).

Tabela 13 - Acúmulo total dos nutrientes fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e boro (B) na planta de cultivares de feijão-comum em função de níveis de magnésio no solo, em condições de casa de vegetação.

Tratamento	P	K	Ca	Mg	B
	g planta ⁻¹				mg planta ⁻¹
TAA Dama	0.033a	0.396a	0.352a	0.052b	0.323b
IAC 1849 Polaco	0.036a	0.427a	0.356a	0.104a	0.366a
Teor de Mg ²⁺ (mmolc dm ⁻³)					
2,0	0.040a	0.351b	0.385a	0.053c	0.302b
4,5	0.033b	0.399a	0.384a	0.067b	0.341ab
6,0	0.032b	0.438a	0.376ab	0.081ab	0.340ab
7,5	0.035ab	0.437a	0.317bc	0.095a	0.373a
14,0	0.033b	0.432a	0.308c	0.097a	0.368a
Fontes de variação			Valor de P		
Cultivares	0.543	0.055	0.809	<0.001	0.006
Mg	0.009	<0.001	<0.001	<0.001	0.023
Cultivar × Mg	0.536	0.405	0.331	0.615	0.597
CV (%)	10.353	21.4	8.7321	10.853	16.877

Médias seguidas de letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

4.4 Variáveis de produtividade

Não foi verificada interações significativas entre cultivares e Mg para os componentes de produtividade de grãos avaliadas nesse estudo, as quais englobam número de vagem por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), massa de

100 grãos (M100G) e produtividade dos grãos (Tabela 14). Foi verificada diferenças significativas entre as cultivares, quando analisadas isoladamente para as variáveis NVP, NGV e M100G. No entanto não foi observada diferença significativa para níveis de Mg.

Analisando os resultados da análise de variância apresentados na Tabela 14, a cv. IAC 1849 Polaco respondeu com maior número de vagem por planta, apesar de não ter ocorrido efeito significativo entre os níveis de Mg avaliados. Obteve-se a média de 11,0 vagens por planta, sendo que este valor, quando comparado com os da literatura, está de acordo com os obtidos por Gomes et al., (2000), que avaliaram as cultivares de feijão Xodó, Carioca, Negro Argel e A320 encontrando um número médio de 10,90 vagens por planta. Em outro estudo, em Seropédica, com as cultivares Kaboon, Manteigão e Carioca, Perin et al., (2002) encontraram o valor de 5,2 vagens por planta. Assim, o NVP no presente estudo, que foi de 12,4 quando foi aplicado $6,0 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ de Mg está de acordo com o obtido na literatura.

No presente estudo foi observado efeito significativo entre as cultivares, quando foi avaliada isoladamente, onde a cv. TAA Dama respondeu com maior número de grãos por vagem do que a cv. IAC 1849 Polaco. Quando se compara o valor obtido com o da literatura, Andrade et al., (1998) encontram 4,40 grãos por vagem, para a cultivar BRS Pérola, em estudo sobre aplicação foliar de molibdênio e adubação nitrogenada de semeadura e cobertura. Além disto, estes autores concluíram que o número de grão por vagem é uma característica de alta herdabilidade genética, que sofre reduzida influência do ambiente, tendo encontrado valores não significativos dos níveis de Mg para o número de grão por vagem.

Desta forma, o aumento do NGV pode estar relacionado ao maior transporte de fotoassimilados durante o enchimento dos grãos. Isso ocorre, possivelmente, porque vitaminas do complexo B desempenham funções na regulação do metabolismo do carbono e da síntese proteica como coenzima funcional durante o carreamento desses compostos (KAYA et al., 2015), além de possuir captação preferencial para alguns nutrientes que regulam atividades enzimáticas nas células, como Mg, fazendo com que esses processos bioquímicos ocorram de maneira completa (GOYER, 2010).

Com relação a massa de cem grãos (M100G), a aplicação de doses de Mg, apesar de não ter apresentado diferença significativa, promoveu um aumento comparativamente à ausência de aplicação (Tabela 14). Pode-se observar que no nível de $2,0 \text{ mmol} \cdot \text{dm}^{-3}$ de Mg, a M100G foi de 30,8 g e quando o mesmo foi exposto

a um nível de $14,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ foi de 31,9. Os valores obtidos nesse estudo estão bem acima dos encontrados por Brandão et al., (2012), para a cultivar IAC Alvorada, com uma média geral de M100G de 19,56 g, avaliando, no entanto, doses de nitrogênio e duas doses de molibdênio. Já, Vescovi et al. (2012) obtiveram para a cultivar BRS Pérola a média geral para M100G de 27,70 g em ensaio testando adubação foliar com boro e manganês, bem como adubação em cobertura de potássio. Zucareli et al. (2006) encontraram para a cultivar IAC Carioca a média geral para M100G de 27,04 g, em estudo de doses de adubação com P. Nos trabalhos realizados em Seropédica, Gomes et al., (2000) encontraram a M100G de 22,65 g e Perin et al., (2002) 38,5 g

Em relação à produtividade de grãos, todos os tratamentos testados não apresentaram diferença significativa entre si (Tabela 14). No presente estudo, a média geral para a variável produtividade foi de $16,9 \text{ g pl}^{-1}$ na cv. TAA Dama que por sua vez respondeu com maior valor quando comparada a cv. IAC 1849 Polaco isoladamente. Verificou-se que o nível de $4,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg, resultou no maior valor de produtividade ($17,0 \text{ g pl}^{-1}$). O que condiz com Canizella (2014), estudando dosagens de Mg em cinco cultivares de feijão, alcançando maiores produtividades de grãos com uma média de $14,1 \text{ g pl}^{-1}$ nas cultivares IPR CG, BRS Ametista e IPR Tangará.

Além disso, a ausência de interação entre os tratamentos para a produtividade de grãos sob influência dos tratamentos de aplicação de Mg pode, também, estar relacionada a análise química do solo. O solo apresentava teor inicial de Ca equivalente a $41 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e a $2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg, o que representa uma disponibilidade baixa de Mg em relação ao Ca em avaliação da aplicação de calcário no feijoeiro.

Tabela 14 - Componentes de produção: Número de vagem por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), massa de 100 grãos (M100G) e produtividade de grãos por planta de cultivares de feijoeiro-comum (TAA Dama e IAC 1849 Polaco) em função de teores de magnésio no solo, em condições de casa de vegetação.

Tratamento	NVP	NGV	M100G	Produtividade
Cultivares			— g —	— g pl ⁻¹ —
TAA Dama	10,5b	5,1a	32,5a	16,9a
IAC 1849 Polaco	12,2a	4,3b	31,0b	15,4a
Teor de Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)				
2,0	11,1a	4,5a	30,8a	16,0a
4,5	12,2a	4,5a	32,8a	17,0a
6,0	12,4a	4,8a	31,9a	16,2a
7,5	10,5a	4,9a	31,9a	16,3a
14,0	10,6a	4,7a	31,3a	15,1a
Fontes de variação		Valor de <i>P</i>		
Cultivar	0,004	<0,001	0,017	0,121
Mg	0,095	0,564	0,270	0,806
Cultivar × Mg	0,418	0,190	0,878	0,656
CV (%)	14,6	10,3	5,8	18,9

Médias seguidas de letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Não houve interação dos tratamentos estudados sobre o teor no grão de N, K, Mg, S (Tabela 15).

Quando analisados separadamente, pode-se observar efeito de cultivares nos teores de Mg no grão. A cv. TAA Dama respondeu com maior teor de Mg no grão, em seguida, verificou-se que níveis de Mg no solo alteraram positivamente o teor de S no grão, aumentando o mesmo.

Tabela 15 - Teor de nutrientes nitrogênio (N), potássio (K), magnésio (Mg), enxofre (S) em grãos de cultivares de feijão-comum em função de níveis de magnésio no solo, em condições de casa de vegetação.

Tratamento	N	K	Mg	S
g kg ⁻¹				
Cultivares				
TAA Dama	48,53a	22,23a	3,34a	2,34a
IAC 1849 Polaco	50,36a	22,00a	2,39b	2,21a
Teor de Mg ²⁺ (mmolc dm ⁻³)				
2,0	47,85a	23,67a	2,72a	1,73b
4,5	48,86a	21,83a	2,48a	2,38ab
6,0	48,61a	21,35a	3,15a	2,52a
7,5	50,76a	22,63a	2,70a	2,21ab
14,0	51,14a	21,10a	3,26a	2,54a
Fontes de variação	Valor de P			
Cultivar	0,095	0,818	<0,001	0,365
Mg	0,236	0,498	0,085	0,009
Cultivar × Mg	0,079	0,778	0,495	0,247
CV (%)	6,7	14,4	21,3	20,2

Médias seguidas de letras diferentes na coluna, dentro de cada fator, diferem entre si pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Com relação aos teores dos nutrientes nos grãos, houve resposta significativa da interação dos fatores cultivares × níveis de Mg apenas para o teor de P e Ca nos grãos de feijão-comum (Tabela 16). A Cv. IAC 1849 Polaco apresentou teor de P no grão maior do que na Cv. TAA Dama apenas no nível 2,0 mmolc dm⁻³ de Mg no solo. Nos demais níveis de Mg no solo para essa variável não apresentou diferença entre as cultivares. Essa interação já era de se esperar, uma vez que a interação entre P e Mg foi estudada por diversos autores (SKINNER; MATTHEWS, 1990; REINBOTT; BLEVINS, 1994, 1997; FAGERIA, 2001; SALEQUE et al., 2001; LANGE, 2007). O processo de sinergismo entre P e Mg, ou seja, o Mg disponível no solo contribui positivamente para uma maior absorção de P pelas plantas, isso, devido ao Mg ser considerado um carregador P, isso se explica pelo fato do Mg ter participação singular na ativação de enzimas (ATPases) da membrana responsáveis pela absorção iônica (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997; MALAVOLTA, 2006).

Já para o Ca, a cv. TAA Dama não diferiu estatisticamente no fator Mg. Com relação a cv. IAC 1849 Polaco, que respondeu com maiores teores de Ca no grão, houve uma diminuição, já esperada, quanto aos níveis de Mg, ou seja, o maior teor de Ca no grão foi encontrado quando as plantas foram submetidas ao menor nível de

Mg no solo. Isso se deu provavelmente, pela interação negativa da relação Ca:Mg no teor de Ca no grão.

Tabela 16 - Desdobramento da interação significativa entre cultivares e níveis de magnésio no solo para teores de fósforo (P), cálcio (Ca) nos grãos do feijoeiro-comum, em condições de casa de vegetação.

Tratamento	P		Ca	
	TAA Dama	IAC 1849 Polaco	TAA Dama	IAC 1849 Polaco
g kg ⁻¹				
Teor de Mg ²⁺ (mmol _c dm ⁻³)				
2,0	2,5Bb	3,1Aa	18,1Ab	29,8Aa
4,5	3,0Aa	3,3Aa	19,4Aa	21,7ABa
6,0	3,3Aa	3,1Aa	19,0Aa	20,9Ba
7,5	2,9ABa	3,0Aa	16,9Aa	22,3ABa
14,0	3,1Aa	3,3Aa	18,8Aa	16,2Ba
Fontes de variação	Valor de <i>P</i>			
Cultivar		0,012		0,010
Mg		0,003		0,072
Cultivar × Mg		0,029		0,032
CV (%)		6,8		20,9

Médias seguidas de letras distintas, maiúscula na coluna e minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

5 CONCLUSÕES

Os teores e acúmulo de Ca foram diminuídos sob altos níveis de Mg^{2+} no solo, o inverso ocorreu com o K e o P, que por sua vez aumentaram com o acréscimo dos teores de Mg^{2+} no solo, em todos os órgãos da planta.

Os níveis de Mg^{2+} no solo não influenciaram as variáveis fisiológicas (IRC, pigmentos cloroplastídicos fotossintéticos, trocas gasosas e parâmetros de fluorescência da clorofila a).

Maiores níveis de Mg^{2+} no solo resultaram em incremento no diâmetro médio das raízes, aumentando o número e massa seca de nódulos, bem como proporcionaram incrementos no número de folhas e matéria seca da parte aérea. Contudo, os componentes da produção e produtividade de grãos da cultivares de feijão-comum não foram afetados pelos níveis de Mg^{2+} no solo.

REFERÊNCIAS

- ALEMU, H. Breeding common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) for canning quality traits: A review. **Journal of Agricultural Science and Food Research**, v. 9, p.1-4, 2018.
- ANDRADE, M. J. B.; DINIZ, A. R.; CARVALHO, J. G.; LIMA, S. F. Resposta da cultura do feijoeiro à aplicação foliar de molibdênio e às adubações nitrogenadas de plantio e cobertura. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 22, p. 499-508, 1998.
- BALIGAR, V.C.; FAGERIA, N.K.; HE, Z.L. Nutrient use efficiency in plants. **Communications in Soil Science and Plant Analyses**, v. 32, p. 921–950, 2001.
- BALLICORA, M. A.; IGLESIAS, A. A.; PREISS, J. ADP-Glucose Pyrophosphorylase: A regulatory enzyme for plant starch synthesis. **Photosynthesis Research**, p.1–24, 2004.
- BARBOSA, F. B.; GONZAGA, A. C. O. Informações técnicas para o cultivo do feijoeiro-comum na Região Central-Brasileira: 2012-2014. Documentos 272. Goiânia: **Embrapa Arroz e Feijão**, 2012. 247p.
- BENITES, V. M.; CARVALHO, M.; RESENDE, A.V.; POLIDOR, J.C. Potássio, cálcio e magnésio na agricultura brasileira. *In*: BENITES, V. M.; CARVALHO, M.; RESENDE, A.V.; POLIDOR, J.C.; BERNARDI, A.C.C.; OLIVEIRAS, F.A. **Boas práticas para uso eficiente de fertilizantes**. Publisher: IPNI, 2010, cap. 16, p. 1-71.
- BERGMANN, W. **Nutrition disorders of plants: development, visual, and analytical diagnosis**. New York: Gustave Fischer Verlag, 1992. 741p.
- BILGER, W.; SCHREIBER, U.; BOCK, M. Determination of the quantum efficiency of photosystem II and non-photochemical quenching of chlorophyll fluorescence in the field. **Ecologia**, v.102, p.425- 432, 1995.
- BOARO, C.S.F.; RODRIGUES, J.D.; PEDRAS, J.F.; RODRIGUES, S.D.; DELACHIAVE, M.E.A.; ONO, E.O. Produção de matéria seca de feijoeiros submetidos a diferentes níveis de magnésio em solução nutritiva. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, p.965-970, 1997.
- BOSE, J.; BABOURINA, O.; RENGEL, Z., Role of magnesium in alleviation of aluminium toxicity in plants. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, p. 2251-2264, 2011.
- BRANDÃO, D.R.; SANTOS, M.M.; FIDELIS, R.R.; BARROS, H.B.; PRATES, R.G. Adubação nitrogenada e molíbdica na cultura do feijoeiro no Tocantins. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 2011, Goiânia. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, 2012.
- BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; FILHO, M.C.M.T.; GAZOLA, R. N.; DINALLI, R. P. Aspectos gerais da adubação da cultura. p.77-109. *In*: ARF, O., LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; FERRARI, S. **Aspectos gerais da cultura do feijão phaseolus vulgaris L.** 1. ed. Botucatu: FEPAF, 2015. p. 433.

CAKMAK, I. Magnesium in crop production, food quality and human health. **Crop and Pasture Science**, v. 66, p. 1-2, 2015.

CAKMAK, I. Magnesium in crop production, food quality and human health. **Plant and Soil**, v. 368, p. 1-4, 2013.

CAKMAK, I., YAZICI, A.M. Magnesium: a forgotten element in crop production. **Better Crops**, p.23–25. 2010.

CAKMAK, I.; KIRKBY, E. A. Role of magnesium in carbon partitioning and alleviating photooxidative damage. **Physiological Plantarum**, v.133, p. 692-704, 2008.

CAMMARANO, P.; FELSANI, A.; GENTILE, M.; GUALERZI, C.; ROMEO, A.; WOLF, G. Formation of active hybrid 80-S particles from subunits of pea seedlings and mammalian liver ribosomes. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Nucleic Acids and Protein Synthesis**, v. 281, p. 625-642, 1972.

CÂMARA, G. M. S. Adubação. *In*: SILVA, F.; BORÉM, A; SEDIYAMA, T. **Soja: do plantio à colheita**. Viçosa: UFV, 2015. 148 p.

CANIZELLA, B. T. **Eficiência de uso de magnésio por cultivares de feijoeiro**. 2014. 78p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014.

CARBONELL, S.A.M.; CHIORATO, A.F.; GONÇALVES, J.G.R.; PERINA, E.F.; CARVALHO, C.R.L. Tamanho de grão comercial em cultivares de feijoeiro. **Ciência Rural**, v.40, p.2067-2073, 2010.

CASPAR, T.; HUBER, S.C.; SOMERVILLE, C. Alterations in growth, photosynthesis, and respiration in a starchless mutant of *Arabidopsis thaliana* (L.) deficient in chloroplast phosphoglucomutase activity. **Plant Physiology**, v. 79, p.11–17, 1985.

CHIORATO, A. F.; CARBONELL, S. A. M.; BEZERRA, C.M.L. ; ESTEVES, J.A.F. ; GONCALVES, J. G. R ; SILVA, D.A. ; ROVARIS, S.R.S. ; SPITTI, A. M. D. S. ; BENCHIMOL-REIS, L. L. ; CARVALHO, C. R. L. ; BARROS, V. L. N. P. ; FREITAS, R. S. ; TICELLI, M. ; GALLO, P.B. . IAC 1849 Polaco: carioca common bean cultivar with an early maturity and tolerance to seed darkening. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 20, p. 1-4, 2020.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos**, Brasília, DF, v. 8, safra 2020/21, n. 5, quinto levantamento, Fevereiro 2021. Brasília, p. 1-94, ISSN 2318 6852.

DE RON, A. M., PAPA, R., BITOCCHI, E., GONZÁLEZ, A. M., DEBOUCK, D. G., BRICK, M. A., CASQUERO, P. A. Common Bean. *In*: **Grain Legumes**. New York: Springer, 2015. p.1-36.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R. Micronutrientes. *In*: FERNANDES, M. S. Nutrição mineral de plantas. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 327-354, 2006.

DIAS, K. G. L. **Nutrição, bioquímica e fisiologia de cafeeiros supridos com magnésio**. 2015. 118p. Tese (Doutorado em ciência do solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2015.

DING, Y.; LUO, W.; XU, G. Characterisation of magnesium nutrition and interaction of magnesium and potassium in rice. **Annals of Applied Biology**, v.149, p.111–123. 2006.

DÖBEREINER, J. *Azotobacter paspali* sp. n., uma bactéria fixadora de nitrogênio na rizosfera de *Paspalum*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 1, p. 357-365, 1966.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão. **Caracterização Botânica de Espécies Silvestres do Gênero Phaseolus L. (Leguminosae)**. Documentos 156, EMBRAPA. Dezembro, 40p. 2003. Disponível em:<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPAP/21629/1/doc_156.pdf>. Acesso em: 26 de outubro de 2020.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, p. 88-125, 1975.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Mineral nutrition of plants: principles and perspectives**. Planta, Londrina, Brasil, 2006. 401p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. **Growth and mineral nutrition of field crops**. 3. ed. Boca Raton: CRC Press, 2011. 560p.

FAGERIA, N.K. Ionic interactions in rice plants from dilute solutions. **Plant and soil**, v. 70, p. 309-310, 1983.

FAGERIA, N.K.; MOREIRA, A.; COELHO, A.M. Nutrient uptake in dry bean genotypes. **Communications Soil Science and Plant Analysis**, v.43, p.2289-2302, 2012.

FAGERIA, N.K.; SOUZA, M.R. Upland rice, common bean, and cowpea response to magnesium application on an Oxisol. **Communications Soil Science and Plant Analysis**, v.17 e 18, p.1805-1816, 1999.

FAGERIA, V. D. Nutrient interactions in crop plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, p. 1269-1290, 2001.

FARINELLI, R.; LEMOS, L. B. Produtividade, eficiência agronômica, características nutricionais e tecnológicas do feijão adubado com nitrogênio em plantio direto e convencional. **Bragantia**, v. 69, p.165-172, 2010.

FAVARIN, J. L.; NETO, A. P.; TEZOTTO, T.; MARTINS, P. O.; TEIXEIRA, P. P. C. Correção do magnésio no solo é essencial ao cafeeiro. **Revista Visão Agrícola**, v.12, p. 76-8, 2013.

FORD, E.M. Studies in the nutrition of apple rootstocks.III. Effects of level of magnesium on growth, form and mineral composition. **Annals of Botany**, v. 30, p.639-655, 1966.

FURLANI JR, E.; NAKAGAWA, J.; BULHÕES. L. J.; MOREIRA, J. A. A.; FILHO, H. G. Correlação entre leituras de Clorofila e níveis de N aplicados em feijoeiro. **Bragantia**, v. 55, p. 171-175, 1996.

GARDEN-ROBINSON, J.; MCNEAL, K. **All about Beans: Nutrition, Health Benefits, Preparation and Use in Menus**. North Dakota State University, Fargo, North Dakota, 2013. Disponível em: <https://www.ag.ndsu.edu/pubs/yf/foods/fn1643.pdf>. Acesso em: 20 de Janeiro 2021.

GENTY, B.; BRIANTAIS, J.M.; BAKER, N.R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 990, p.87-92, 1989.

GERENDÁS, J.; FÜHRS, H. The significance of magnesium for crop quality. **Plant and Soil**, v. 368, n. 1, p. 101-128, 2013.

GOMES, A. A.; ARAÚJO, A. P.; ROSSIELLO, R.O.P.; PIMENTEL, C. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 35, n. 10, 2000.

GOYER, A. Thiamine in plants: aspects of its metabolism and functions. **Phytochemistry**, v.71, p. 1615-1624, 2010.

HEINRICHS, R. **Efeito do magnésio na absorção e distribuição de manganês e zinco em soja (Glycine max (L.) Merrill) cultivada em solos de cerrado**. 2002. 105p. Tese (Doutorado em Energia Nuclear na Agricultura) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba. RJ.

HERMANS, C.; JOHNSON, G. N.; STRASSER, R. J.; VERBRUGGEN, N. Caracterização fisiológica da deficiência de magnésio na beterraba sacarina: a aclimação a baixos níveis de magnésio afeta diferentemente os fotossistemas I e II. **Planta**, v. 220, n. 2, p. 344-355, 2004.

HODGE, A.; ROBINSON, D.; GRIFFITHS, B. S.; FITTER, A. H. Why plants bother: root proliferation results in increased nitrogen capture from an organic patch when two grasses compete. **Plant, Cell and Environment**, Chichester, v. 22, p. 811-820, 1999.

KAYA, C.; ASHRAF, M.; SONMEZ, O.; TUNA, A. L. Exogenous application of thiamin promotes growth and antioxidative defense system at initial phases of development in salt-stressed plants of two maize cultivars differing in salinity tolerance. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 37, n.1, p. 1741-1753, 2015.

KOCH, M.; NAUMANN, M.; PAWELZIK, E.; GRANSEE, A.; THIEL, H. The importance of nutrient management for potato production part I: Plant nutrition and yield. **Potato Research**, p.1-23, 2019.

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.

LANGE, J. L. **Suprimento combinado de fósforo e magnésio para a produção e nutrição do capim-Tanzânia**. 2007. 78 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

LEAL, F. T.; FILLA, V. A.; BETTIOL, J. V. T.; SANDRINI, F. D. O. T.; MINGOTTE, F. L. C.; LEMOS, L. B. Use efficiency and responsivity to nitrogen of common bean cultivars. **Science and Agrotechnology**, v. 43, 2019.

LEMOS, L. B.; MINGOTTE, F. L. C.; FARINELLI, R. Cultivares. *In*: ARF, O.; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P.; FERRARI, S. **Aspectos gerais da cultura do feijão phaseolus vulgaris L.** 1. ed. Botucatu: FEPAF, 2015. p. 181-207.

LOPES, A. **Manual Internacional de Fertilidade do Solo**. 2ª edição. Editora Potafos, Piracicaba–SP, 1998.

MAATHUIS, F. J. M. **Physiological functions of mineral macronutrients**. Current Opinion in Plant Biology, California, v. 12, n. 3, p. 250-258, 2009.

MAGALHÃES, N. **Tratado de viticultura**: a videira, a vinha e o terroir. Lisboa: Esfera Poética, 2010, 605p.

MAIA, S. C. M.; SORATTO, R. P.; LIEBE, S. M.; ALMEIDA, A. Q. Criteria for topdressing nitrogen application to common bean using chlorophyll meter. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.52, p.512-520, 2017.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral das plantas. **Revista Ceres**, São Paulo, Brasil. 1980. 251p.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. 1. Ed. São Paulo: **Revista agrônômica Ceres**, 2006. 638p.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889p.

MARSCHNER, P. **Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants**. London: Academic Press. 2012. 651p.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 5 ed. Dordrechth: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.

MOREIRA, A.; CARVALHO, J. G.; EVANGELISTA, A. R. Influência da relação cálcio: magnésio do corretivo na nodulação, produção e composição mineral da alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 249-255, 1999.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; HEINRICHS, R.; TANAKA, R.T. Influência do magnésio na absorção de manganês e zinco por raízes destacadas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, p.95-101, 2003.

NORRIS, D. O. The role of calcium and magnesium in the nutrition of Rhizobium. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 5, p. 651-698, 1959.

OLIVEIRA, E. L.; PARRA, M. S. Resposta do feijoeiro a relações variáveis entre cálcio e magnésio na capacidade de troca de cátions de latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 05, p. 859-866, 2003.

OLIVEIRA, F. A.; MEDEIROS, J. F.; ALVES, R. C.; LIMA, L. A.; SANTOS, S. T.; RÉGIS, L. R. L. Produção de feijão caupi em função da salinidade e regulador de crescimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.19 n. 11, p. 1049-1056, 2015.

ORLANDO FILHO, J.; BITTENCOURT, V.C.; CARMELLO, Q.A.C.; BEAUCLAIR, E.G.F. Relações K, Ca e Mg de solo areia quartzosa e produtividade da cana-deaçúcar. **STAB: açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, v.14, n.5, p.13-17, 1996.

PAVEZI, A.; FAVARÃO, S. C. M.; KORTE, K. P. Efeito de diferentes bioestimulantes na cultura do feijoeiro-comum. **Revista Campo Digital**, v.12 n. 1, p. 30-35, 2017.

PENG, W. T.; ZHANG, L. D.; ZHOU, Z.; FU, C.; CHEN, Z. C.; LIAO, H. Magnésio promove a nodulação radicular através da facilitação da alocação de carboidratos na soja. **Revista on-line: International Journal for Plant Biology**, p.48-228, 2018.

PERIN, A.; ARAÚJO, A.P.; TEIXEIRA, M.G. Efeito do tamanho da semente na acumulação de biomassa e nutrientes e na produtividade do feijoeiro, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 12, 2002.

PERINA, E. F.; CARVALHO, C. R. L.; CHIORATO, A. F.; LOPES, R. L. T.; GONÇALVES, J. G. R.; CARBONELL, S. A. M. Qualidade tecnológica dos grãos de feijão obtidos em diferentes épocas de cultivo. **Bragantia**, v. 73, p.14-22, 2014.

PIELTAIN, M. C.; CASTAÑÓN, A. A. R.; FLORES, M. P.; CASTAÑÓN, J. I. R. Nutritive value of postharvest bean by-products (*Phaseolus vulgaris* L.) for ruminants. **Animal Feed Science and Technology**. v. 62 p. 271–275, 1996.

PITCHAY, D.; MIKKELSEN, R. **Diagnose nutricional da planta**. Piracicaba: IPNI, 128 p. 2018. (Tradução de Silvia Regina Stipp).

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

PRIMAVESI, A. **A biocenose do solo na produção vegetal & Deficiências minerais em culturas, nutrição e produção vegetal**. / Ana Primavesi e Artur Primavesi (Org.). 1. ed. São Paulo: Expressão Popular, 2018, 608p.

R Core Team (2020). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>.

RAIJ, B. V.; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001, 284p.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendação de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1997. 285p. (Boletim Técnico 100).

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1996. 285p. (Boletim técnico 100).

REINBOTT, T.M.; BLEVINS, D.G. Phosphorus and magnesium fertilization interaction with soil phosphorus level: tall fescue yield and mineral element content. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.10, p.260-265, 1997.

REINBOTT, T.M.; BLEVINS, D.G. Phosphorus and temperature effects on magnesium, calcium, and potassium in wheat and tall fescue leaves. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, p.523-529, 1994.

ROBINSON, D. The responses of plants to non-uniform supplies of nutrients. **New Phytologist**, Chichester, v. 127, p. 635–674, 1994.

ROBINSON, D.; HODGE, A.; GRIFFITHS, B. S.; FITTER, A. H. Plant root proliferation in nitrogen-rich patches confers competitive advantage. **Proceedings of the Royal Society of London B**, London, v. 26, p. 431-435, 1999.

ROSOLEM, C. A.; MACHADO, J. K.; BRINHOLI, O. Efeito das relações Ca/Mg, Ca/K e Mg/K do solo na produção de sorgo sacarino. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 19, n. 12, p. 1443-1448, 1984.

ROSA, M. E. **Efeito da adubação verde e doses de estimulantes em plantio direto: no desenvolvimento, produtividade e qualidade fisiológica das sementes de feijão no Cerrado Sul-Mato-Grossense**. 2018. 98p. Tese (Doutorado em agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2018.

SAHRAWAT, K. áL. Iron toxicity in wetland rice and the role of other nutrients. **Journal of Plant Nutrition**, v. 27, n. 8, p. 1471-1504, 2004.

SALEQUE, M.A.; ABEDIN, M.J.; AHMED, Z.U.; HASAN, M. ; PANAULLAH, G.M. Influences of phosphorus deficiency on the uptake of nitrogen, potassium, calcium, magnesium, sulfur, and zinc in lowland rice varieties. **Journal of Plant Nutrition**, Philadelphia, v.24, p.1621-1632, 2001.

SANT'ANA, E. V. P.; SANTOS, A. B. dos; SILVEIRA, P. M. Adubação nitrogenada na produtividade, leitura SPAD e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.40, n.4, p. 491-496, 2010.

SANTOS, J. B.; GAVILANES, M. L.; VIEIRA, R.; PINHEIRO, L. R. Botânica. In: CARNEIRO, J. E.; JÚNIOR, T. J. P.; Borém, A. **Feijão do plantio à colheita**. Viçosa: Editora UFV, p. 37-66, 2015.

SCHUBERT, S. Nitrogen assimilation by legumes – processes and ecological limitations. University of Hohenheim, Germany. **Fertilizer Research**, v. 42, p. 99-107, 1995.

SEMENTES MARAMBAIA. **Feijão carioca TAA Dama**. Disponível em: <http://www.sementesmarambaia.com.br/objeto.php?id=22>. Acesso em: 26 fevereiro de 2021.

SENBAYRAM, M.; GRANSEE, A.; WAHLE, V.; THIEL, H. Role of magnesium fertilizers in agriculture: Plant-soil continuum. **Crop and Pasture Science** v. 66, p. 1219-1229, 2015.

SHARASIA, P. L.; GARG, M. R.; BHANDERI, B. M. **Pulses and their by-products as animal feed**. CALLES T.; MAKAR, H. P. S. Rome: FAO, 2017.

SILVA, D. A.; ESTEVES, J. A DE F.; GONÇALVES, J. G. R.; AZEVEDO, C. V. G.; RIBEIRO, T.; CHIORATO, A. F.; CARBONELL, S. A. M. Avaliação de genótipos de feijão para a eficiência do uso de fósforo em Latossolo Eutrófico. **Bragantia**, v. 75, p. 152-163, 2016.

SILVA, I. R.; FERRUFINO, A.; SANZONOWICZ, C.; SMYTH, T. J.; ISRAEL, D. W.; CARTER JÚNIOR, T. E. Interactions between magnesium, calcium, and aluminum on soybean root elongation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 747-754, 2005.

SILVA, L. M.; LEMOS, L. B.; CRUSCIOL, C. A. C.; MATEUS, G. P.; FELTRAN, J. C. Crescimento radicular e absorção de micronutrientes do feijoeiro em razão da calagem. **Revista Científica**, v. 35, n. 2, p. 88-105, 2007.

SILVA, T. R. B.; LEMOS, L. B.; CRUSCIOL, C. A. C. Produtividade e características tecnológicas de cultivares de feijão em resposta à calagem superficial em plantio direto, **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, 2011.

SKINNER, P. W.; MATTHEWS, M. A. A novel interaction of magnesium translocation with the supply of phosphorus to roots of grapevine (*Vitis vinifera* L.). **Plant, Cell & Environment**, v. 13, n. 8, p. 821-826, 1990.

SNACK, C.; SALINAS, A.O.D. **Phaseolus**. In: Flora do Brasil 2020 em construção. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/reflora/listaBrasil/FichaPublicaTaxonUC/FichaPublicaTaxonUC.do?id=FB79132>. Acesso em: 20 Jan. 2021.

SORATTO, R. P.; CARVALHO, M. A. C.; ARF, O. Teor de clorofila e produtividade do feijoeiro em razão da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 895-901, 2004.

SORATTO, R. P.; FERNANDES, A. M.; SANTOS, L. A.; JOB, A. L. G. Nutrient extraction and exportation by common bean cultivars under different fertilization levels: I - Macronutrients. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 4, p. 1027-1042, 2013.

SOUZA, H. A.; HERNANDES, A.; ROMUALDO, L.M.; ROZANE, D.E.; NATALE, W.; BARBOSA, J.C. Folha diagnóstica para avaliação do estado nutricional do feijoeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.1243-1250, 2011.

STITT, M.; ZEEMAN, S.C. Starch turnover: Pathways, regulation and role in growth. **Curr. Opin. Plant Biol**, v.15, p. 282–292, 2012.

TAIZ L, ZEIGER E. **Fisiologia vegetal**. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed; 2013.

TATAGIBA, S. D.; DAMATTA, F. M.; RODRIGUES, F. A. “Magnesium Decreases Leaf Scald Symptoms on Rice Leaves and Preserves Their Photosynthetic Performance.” **Plant Physiology and Biochemistry**. v. 108, p. 49–56, 2016.

TENNANT, D.A. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Ecology**, v. 63, p. 995-1001, 1975.

TEWARI, R.K.; KUMAR, P.; SHARMA, P.N. Magnesium deficiency induced oxidative stress and antioxidant responses in mulberry plants. **Scientia Horticulturae**, v.108, p.7–14, 2006.

TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers**. 5. ed. New York, Macmillan, 1993. 634p.

TOKARNIA, C. H.; DÖBEREINER, J.; PEIXOTO, P. V. Deficiências minerais em animais de fazenda, principalmente bovinos em regime de campo. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Seropédica, v. 20, n. 3, p. 127- 138, 2000.

TSUTSUMI, C. Y.; BULEGON, L. G.; PIANO, J. T. Melhoramento genético do feijoeiro: avanços, perspectivas e novos estudos, no âmbito nacional. **Nativa**, Sinop, v. 3, n. 3, p. 217-223, 2015.

VARGAS, M. A. T.; MENDES, I. C.; HUNGRIA, M. Benefits of inoculation of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) crop with efficient and competitive *Rhizobium*. **Biology and Fertility of Soils**, v. 32, p. 228–233, 2003.

VESCOVI, L.B.; BONILHA, M.A.F.; TEIXEIRA, C.M.; FERREIRA, J.O. Relação cobertura potássica vs. aplicação foliar de boro e manganês na cultura do feijoeiro. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 2011, Goiânia. **Anais...** Goiânia: EMBRAPA Arroz e Feijão, 2012.

VITTI, G.C.; LIMA, E.; CICARONE, F. Cálcio, magnésio e enxofre. In: MANLIO, S.F. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 299-325, 2006.

WELLBURN, A.R. The spectral determination of chlorophylls a and b; as well as total carotenoids; using various solvents with spectrophotometers of different resolution. **Journal of Plant Physiology**, v.144, p.307-313, 1994.

WIEND, T. Magnésio nos solos e nas plantas. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 117, p. 19-21, 2007.

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

ZUCARELI, C.; BRZEZINSKI, C. R.; ABATI, J.; WERNER, F.; RAMOS JÚNIOR, E. U.; NAKAGAWA, J. Qualidade fisiológica de sementes de feijão carioca armazenadas em diferentes ambientes. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 8, p. 803-809, 2015.

ZUCARELI, C.; RAMOS JÚNIOR, E. U.; BARREIRO, A. P.; NAKAGAWA, J.; CAVARIANI, C. Adubação fosfatada, componentes de produção, produtividade e qualidade fisiológica em sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 1, p.09-15, 2006.