



Realizando a Qualidade

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

KAREN ALESSANDRA SOUSA CASTRO

**Efeitos da densidade de plantas no desempenho do feijão-mungo-verde
e nos teores de zinco e ferro dos grãos**

São Luís/MA

2020

KAREN ALESSANDRA SOUSA CASTRO
Engenheira Agrônoma

**Efeitos da densidade de plantas no desempenho do feijão-mungo-verde
e nos teores de zinco e ferro dos grãos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Faria Vieira
Coorientador: Prof. Dr. Heder Braun

São Luís/MA

2020

Castro, Karen Alessandra Sousa.

Efeitos da densidade de plantas no desempenho do feijão-mungo-verde e nos teores de zinco e ferro dos grãos / Karen Alessandra Sousa Castro. – São Luís, 2020.

58 f

Dissertação (Mestrado) – Curso de Agroecologia, Universidade Estadual do Maranhão, 2020.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Faria Vieira.

1. *Vigna radiata* (L.). 2. Espaçamento entre fileiras. 3. Absorção de Fe e Zn. I. Título

CDU: 635.654-154.32

KAREN ALESSANDRA SOUSA CASTRO

**Efeitos da densidade de plantas no desempenho do feijão-mungo-verde
e nos teores de zinco e ferro dos grãos**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Agroecologia da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA, para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Vieira Faria
Coorientador: Prof. Dr. Heder Braun

Aprovado em 12/ 02/ 2020

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Rogério Faria Vieira - Orientador

Doutor em Fitotecnia



Prof. Dr. Heder Braun - Coorientador

Doutor em Fitotecnia

Universidade Estadual do Maranhão



Prof. Dra. Cristina Silva Carvalho

Doutora em Agricultura Tropical e Subtropical

Universidade Estadual do Maranhão

Dedico!
A Deus.
À minha mãe Lecenir Sousa Castro e á minha avó Maria das Graças Borralho Magalhães,
por todo o amor e ensinamentos em minha vida.
Ao meu irmão Gean Lucas Castro Silva e a meu noivo Raphael Ramos Silva por serem minha
inspiração e me darem forças em toda trajetória.

AGRADECIMENTOS

A Deus e ao senhor Jesus Cristo, por sua imensa misericórdia, pelo dom da vida, por todas as bênçãos concedidas e por nunca ter me deixado desistir dos meus objetivos.

Agradeço à minha família, em especial minha mãe Lucenir Sousa Castro, meu irmão Gean Lucas Castro Silva e minha vizinha Maria das Graças Borralho Magalhães, que sempre me incentivaram e apoiaram nos estudos e na vida.

Ao meu amado Raphael Ramos Silva que acompanhou meus passos durante a carreira acadêmica desde o começo e até hoje posso contar com seu apoio.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos durante o mestrado, e à FAPEMA pelo apoio financeiro para a execução do projeto de pesquisa.

À Universidade Estadual do Maranhão pela oportunidade de realização do curso de Mestrado em Agroecologia.

Ao meu orientador Prof. Dr. Rogério Faria Vieira, pelos novos ensinamentos durante a execução da pesquisa e durante o curso de redação científica, pela paciência e apoio.

Ao professor Dr. Heder Braun, obrigada por todo conhecimento e paciência desde a graduação, também pela atenção e confiança depositada a mim.

Ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, em especial à Dra. Cristina Silva Carvalho pela amizade, apoio e compreensão durante a pesquisa e na construção da dissertação, e aos demais professores.

Agradeço à Rayanne Cristine C. E Ferreira e Denise Araújo da Silva, secretárias do Programa de Pós-graduação em Agroecologia, sempre atenciosas e dispostas a ajudar todos os alunos.

Aos funcionários do programa, Neto, Jade, João, Maria, Paulino, que sempre estão dispostos a ajudar.

A equipe de pesquisa do professor Heder: Assistone, Erivaldo, Flávia, Fernando, Ester, Lincon, Marcelo, Vanessa e Werlen, obrigada pelo apoio e assistência nas execuções das atividades, aprendi muito com vocês.

E a todos que me ajudaram de alguma forma na construção desse trabalho.

Obrigado a todos!

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| RESUMO GERAL | 10 |
| CAPÍTULO I | 11 |
| 1. INTRODUÇÃO | 12 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 14 |
| 2.1 Feijão-mungo-verde | 14 |
| 2.3 Densidade de plantio | 16 |
| 2.4 Zinco no solo e na planta | 17 |
| 2.5 Nutrição humana à base de zinco e ferro | 18 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 19 |
| CAPÍTULO II | 27 |
| RESUMO | 28 |
| INTRODUÇÃO | 29 |
| MATERIAIS E MÉTODOS | 30 |
| Tratamentos e delineamento experimental | 31 |
| Instalação e condução dos experimentos | 31 |
| Características avaliadas | 32 |
| Análises estatísticas | 33 |
| RESULTADOS | 34 |
| DISCUSSÃO | 41 |
| CONCLUSÃO | 44 |
| AGRADECIMENTOS | 44 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 45 |
| ANEXO | 48 |

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Início da floração, aparecimento da primeira vagem madura e colheita do feijão-mungo-verde, cultivar Camaleão, em 2018 e 2019, São Luís- MA.....34

Tabela 2. Valor de P para o índice SPAD, teor de N na folha, teor de Zn na folha, altura da primeira vagem, produtividade de grãos, número vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos, teor de Zn e Fe no grão, no espaçamento entre fileiras, densidade de plantas, interação entre esses fatores e contraste entre tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m (T45/12) vs tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m + Zn (T45/12 + Zn), em São Luís- MA, 2018 e 2019.35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Efeitos da densidade de plantas no índice SPAD (A e B), efeito da densidade de plantas dentro dos espaçamentos entre fileiras no teor de N na folha (C) e efeitos da densidade de plantas no teor de Zn na folha (D), em São Luís-MA. As médias das variáveis dependentes foram comparadas pelo teste de Duncan ($n = 4$ ou $n = 8$) ao nível de 5% de probabilidade. A barra vertical representa o desvio-padrão.36

Figura 2. Efeitos da densidade de plantas dentro dos espaçamentos entre fileiras na produtividade de grãos (A e B), no teor de Zn no grão (C e D) e no teor de Fe no grão (E e F), em São Luís-MA. As médias das variáveis dependentes foram comparadas pelo teste de Duncan ($n = 4$) ao nível de 5% de probabilidade. A barra vertical representa o desvio-padrão.40

RESUMO GERAL

As leguminosas, mais especificamente os feijões, podem ser alternativas para os agricultores familiares do Maranhão, como a cultura do feijão-mungo-verde (*Vigna radiata* L.). Nesse estado, os agricultores familiares não conhecem essa cultura. Logo, para a introdução dessa nova espécie de leguminosa no Maranhão é necessário obter informações agronômicas básicas, como arranjo e população de plantas no campo para maximizar a produtividade e o incremento de ferro (Fe) e zinco (Zn) nos grãos, nutrientes geralmente deficientes em nossa alimentação. Nossa hipótese é que densidade de plantas adequada maximiza a produtividade e aumenta os teores de Fe e Zn nos grãos do feijão-mungo-verde. Nosso objetivo foi determinar os efeitos da densidade de plantas de feijão-mungo-verde no desempenho do feijão-mungo-verde e no incremento dos teores de Fe e Zn nos grãos. Foram conduzidos dois experimentos em campo, um em 2018 e outro em 2019. Os tratamentos foram arranjos no esquema fatorial [(4 x 2) + 1]: densidades de plantio (8, 12, 16 ou 20 plantas/m), espaçamentos entre fileiras (30 ou 45 cm) e tratamento adicional (45 cm entre fileiras, 12 plantas/m + Zn aplicado no sulco de plantio e na folhagem). Nesse tratamento adicional, aos 30 dias após o plantio, foi aplicado, 8 kg ha⁻¹ de Zn no primeiro experimento e 4 kg ha⁻¹ de Zn no segundo. Foi usado o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Foi utilizada a cultivar Camaleão. Com 30 cm entre fileiras, a densidade de 8 plantas/m aumentou a produtividade em 35%-87%, em relação à densidade de 20 plantas/m. Com 45 cm entre fileiras, a densidade de 20 plantas/m aumentou a produtividade em 77%, em relação à densidade de 8 plantas/m. Com 30 cm entre fileiras, a densidade de 8 plantas/m aumentou o teor de Zn no grão em 8% e o teor de Fe no grão em 39%, em relação à densidade de 20 plantas/m. Com 45 cm entre fileiras, a densidade de 20 plantas/m aumentou o teor de Zn no grão em 12,6% e o teor de Fe no grão em 17%, em relação à densidade de 8 plantas/m. Nossos resultados sugerem que o espaçamento de 30 cm entre fileiras, com as densidades de 8-12 plantas/m; ou o espaçamento de 45 cm entre fileiras, com as densidades de 16-20 plantas/m aumentam a produtividade e o teor de Zn no grão do feijão-mungo-verde. Densidades de 8-12 plantas/m aumentam o teor de Fe no grão, independente do espaçamento entre fileiras.

Palavras-chave: *Vigna radiata* L, espaçamento entre fileiras, absorção de Fe e Zn.

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

A maioria das famílias maranhenses, principalmente as de agricultores com baixo poder aquisitivo, que não podem comprar insumos (fertilizantes e sementes), utilizam o sistema cultivo de corte e queima da vegetação. O uso desse sistema faz com que esses agricultores obtenham baixos rendimentos do arroz, do milho, da mandioca e do feijão-caupi, entre outras culturas.

A ausência do fornecimento adequado de nutrientes contribui para baixa produtividade, e diminui o valor nutricional do feijão (TEIXEIRA, 2000). O baixo valor nutricional desse alimento pode levar milhares de pessoas a uma dieta deficiente em vitaminas e minerais essenciais, principalmente vitaminas, ferro (Fe) e zinco (Zn). A deficiência de micronutrientes como o Fe e o Zn é um importante problema de saúde pública mundial e no Brasil, uma vez que pode levar à morte por doenças devido à má nutrição (WHO, 2011). A principal causa da carência nutricional é a pouca ingestão de alimentos ricos em micronutrientes essenciais à saúde humana, que ocorre geralmente na população de baixa renda, por não terem uma alimentação adequada.

Para combater a má nutrição pela deficiência de Zn e Fe, é preciso fornecer esses micronutrientes por meio de uma alimentação diversificada, balanceada e nutritiva. Esforços têm sido feitos para reduzir a deficiência nutricional pelas técnicas de suplementação (medicamentos), fortificação (adição de Fe e Zn no alimento), biofortificação genética (melhoramento genético de plantas) e pela biofortificação agrônômica (fertilização com Fe e Zn) (HARRIS et al., 2007; ÇAKMAK, 2008; WHO, 2011; RAWAT et al., 2013; CAMBRAIA et al., 2019). Porém, o pequeno produtor não tem acesso a alimentos produzidos pela biofortificação agrônômica, pois não possuem recursos financeiros suficientes para comprar insumos e utilizar tecnologias na propriedade. Logo, o fornecimento de alimentos fortificados, por programas de política pública e privado, pode ser uma estratégia para aumentar a qualidade alimentar (BOUIS et al., 2017), principalmente das famílias mais carentes.

Uma alternativa de baixo custo e viável para os agricultores familiares maranhenses é o plantio de uma leguminosa pouco cultivada no Maranhão, o feijão-mungo-verde (*Vigna radiata* L.). Essa cultura pode ser consumida na forma do broto de feijão (*moyashi*). Os brotos são altamente nutritivos devido suas fontes de minerais, vitaminas, proteínas e baixas calorias o que o tornou popular no Brasil pela procura de alimentos saudáveis. Os grãos dessa leguminosa possui o teor de proteínas que pode variar de 19,5 a 31,2%, ainda tem 10,6% de água, 4,4% de fibras, 1,2% de lipídios e 3,5% de cinzas ricas em Ca, P, Fe, Na e K (VIEIRA,

2001). Ademais, essa cultura pode ser alternativa ao feijão-caupi para gerar renda aos agricultores familiares e aliviar a má nutrição em áreas com reduzido nível de tecnologia.

No Brasil, o feijão-mungo-verde é adaptado às condições tropicais e subtropicais, possui ciclo de vida de 65 dias e produtividade de 1200 a 2600 kg/ha (VIEIRA et al., 2002 SCHREINEMACHERS et al., 2019). Na Austrália, Rachaputi et al. (2015) relataram que a produtividade de grãos variou de 500 a 2000 kg/ha. Além disso, o feijão-mungo-verde é utilizado como adubo verde e cultura de cobertura para a melhoria da qualidade do solo, em especial aqueles com histórico de degradação (NALAMPANG, 1992; AMBROSANO et al., 2013; ROCHA et al., 2014).

Os agricultores do Maranhão não conhecem a cultura do feijão-mungo-verde. Logo, para a introdução dessa espécie de leguminosa é necessário obter informações agronômicas básicas, como arranjo e população de plantas no campo para maximizar a produtividade. A densidade de plantas ideal determina as condições favoráveis para a absorção dos elementos essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, como luz, água e nutrientes (ARGENTA et al., 2001).

A combinação ótima do espaçamento entre fileiras e da densidade de plantas é essencial para maximizar a produção das culturas (HENDERSON et al., 2000). No caso do feijão-caupi, as densidades de plantas e os espaçamentos entre fileiras recomendados para cultivares de portes prostrado e semiprostrado são de 90 mil a 130 mil plantas por hectare com o espaçamento de 0,80 m a 1,00 m entre linhas. E para variedades de portes semiereto e ereto, recomendam-se 180 mil a 220 mil plantas por hectare com o espaçamento de 0,50 m a 0,70 m (EMBRAPA, 2017).

Na Austrália, Rachaputi et al. (2015) relataram que as densidades de plantas de 20, 30 ou 40 plantas/m² não influenciaram a produtividade de grãos de feijão-mungo-verde. Por outro lado, esses autores relataram que o espaçamento entre fileiras de 0,3 a 0,5 m aumentou a produtividade em 14% e a massa da parte aérea seca em 22% em relação ao espaçamento entre fileiras de 0,9 a 1,0 m. Há estudos que mostram que menores espaçamento entre fileiras aumentam na eficiência do uso da água (BARBIERI et al., 2012), redução de plantas espontâneas (FAHAD et al., 2014) e aumento na produtividade de grãos (RACHAPUTI et al., 2015).

Na Índia e em Taiwan, 40 plantas/ m² renderam mais grãos de feijão-mungo-verde que 33 plantas/ m². Em média, houve aumento de 8,9% (2002) e 5,1% (2003) no rendimento de grãos de 40 plantas/ m² em relação a 33 plantas/ m² em dois anos de plantio. (SINGH et al., 2011).

Na cultura do arroz, o aumento da densidade de plantas aumentou o acúmulo de massa da parte aérea seca e o conteúdo de Zn na parte aérea dessas plantas (ARNOLD et al., 2010). Por outro lado, na cultura do milho, o aumento da densidade de plantas reduziu o teor de Zn (VYN e TOLLENAAR, 1998) ou não influenciou o teor de Zn do grão dessa cultura (CIAMPITTI et al., 2013). Ademais, o uso de uma maior densidade de plantas por área, seja pela redução do espaçamento entre fileiras ou pelo aumento do número de plantas na fileira, as plantas de feijão-mungo-verde possuem a maior capacidade de extrair água e nutrientes para o crescimento. Logo, em solos pobres em Zn, o aumento da biomassa e do conteúdo de Zn na parte aérea depende da interação entre a sua eficiência de absorção e da densidade de plantas (HOFFLAND et al., 2006).

Na literatura encontramos trabalhos que estudaram estratégias de biofortificação para aumentar o teor de Fe e Zn nos grãos das culturas (CAKMARK et al., 2010; JOY et al., 2015; RAM et al., 2016; CAMBRAIA et al., 2019), bem como o manejo para aumentar a produtividade das culturas (RACHAPUTI et al., 2015; FISCHER et al., 2019). No entanto, ainda não se relataram as melhores técnicas de manejo para incrementar o teor de Fe e Zn nos grãos do feijão-mungo-verde.

O aumento da densidade de plantas de arroz proporcionou o uso mais eficiente do Zn pelas plantas, devido a maior exploração do solo pelas raízes ou pelo aumento da superfície específica da raiz (ARNOLD et al., 2010). Diante disso, nossa hipótese é que a densidade de plantas aumenta o desempenho do feijão-mungo-verde e incrementa os teores de Fe e Zn nos grãos. Logo, o nosso objetivo foi avaliar os efeitos da densidade de plantas no desempenho do feijão-mungo-verde e no incremento dos teores de Fe e Zn nos grãos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Feijão-mungo-verde

O feijão-mungo-verde ou feijão-moyashi (*Vigna radiata* L.) é uma leguminosa granífera da família Fabaceae com origem na Ásia e chamado em inglês de mung bean. Atualmente, o feijão-mungo-verde é produzido e comercializado na China, Myanmar, Índia, Coreia, Paquistão, Japão, Tailândia e em outras partes do sudeste da Ásia (ZHANG et al., 2013).

A planta do feijão-mungo-verde é anual, de porte ereto ou semi-ereto, com caule, ramos e folhas cobertos por pêlos, e com altura que varia de 0,3 a 1,5 m. A floração tem início entre 25 e 42 dias após a emergência, dependendo do cultivar, da região e da época de plantio (SAYÃO et al., 1991; VIEIRA & NISHIHARA, 1992; MIRANDA et al., 1996). As

vagens do feijão-mungo-verde possuem forma cilíndrica, com 7 a 15 cm de comprimento e, geralmente são cobertas por pêlos. Durante a maturação, que é desuniforme, as vagens secas apresentam coloração marrom ou preta e contêm de 6 a 20 sementes. As sementes são pequenas, com massa de 3,5 a 7,0 g/100 unidades, e as cultivares comerciais tem tegumento de coloração verde fosco ou brilhante (VIEIRA et al., 2003).

A temperatura mínima para o desenvolvimento da planta varia de 20-22°C e a ótima de 28-30°, talvez um pouco acima se a umidade for adequada (POEHLMAN, 1978). O feijão-mungo-verde cresce melhor em solos argilosos (com pH acima de 5,5) e é relativamente resistente à seca. Entretanto, esta leguminosa adapta-se bem a diferentes tipos de solos. No Sudeste (VIEIRA et al., 2002), Centro-Oeste (VIEIRA et al., 2003) e Nordeste (OLIVEIRA et al., 2013) do Brasil pode ser cultivado na época das chuvas outubro-novembro ou em fevereiro-março (VIEIRA et al., 2002).

O feijão-mungo-verde é pouco produzido no Brasil, mas sua produção deve crescer devido ao aumento da demanda pelo broto de feijão (LIN & ALVES, 2002; VIEIRA et al., 2003) e também aos investimentos feitos no País para produção dessa leguminosa visando exportação para outros países. No Brasil, a produtividade do feijão-mungo-verde varia de 135 a 2.550 kg ha⁻¹ (VIEIRA et al., 1992; VIEIRA & NISHIHARA, 1992; VIEIRA & VIEIRA, 1996; MIRANDA et al., 1996; NASSER & VIEIRA, 1997; YUYAMA, 1997; LIN & ALVES, 2002, VIEIRA et al., 2003; VIEIRA et al., 2011).

O valor nutritivo dos grãos dessa espécie, com altos teores de vitamina B e ferro aliado ao potencial de produtividade pode estimular seu consumo e cultivo dessa leguminosa no Brasil, principalmente por pequenos agricultores familiares, deste modo, os pequenos produtores poderão diversificar a produção e aumentar a sua renda. Outra forma de consumo do feijão-mungo-verde é na forma de broto de feijão (moyashi), obtido mediante a germinação das sementes em ambiente controlado (VIEIRA et al., 2001) Os brotos são altamente nutritivos devido suas fontes de minerais, vitaminas, proteínas e baixas calorias. Segundo Vieira (2001), o teor de proteínas dos grãos desta leguminosa pode variar de 19,5% a 31,2%, o grão ainda possui 10,6% de água, 4,4% de fibras, 1,2% de lipídios e 3,5% de cinzas ricos em Ca, P, Fe, Na e K. Os brotos de feijão- mungo são muito apreciados na China, no Japão, nos EUA e outros países (VIEIRA et al., 2003; ARAUJO et al., 2011).

Outras partes da planta dessa espécie também podem ser consumidas. As vagens verdes são utilizadas após a colheita e podem ser preparadas cozidas com água, refogadas, fritas ou cruas em saladas. Os grãos secos podem ser cozidos como o feijão comum e os brotos de sementes recém-germinadas são utilizados na forma de salada (DUQUE et al.,

1989).

2.3 Densidade de plantio

O espaçamento e a densidade de plantio são componentes tecnológicos que definem a população e o arranjo de plantas. Estes componentes tecnológicos podem interferir no rendimento e nas operações a serem realizadas em uma lavoura. (ANDRADE, 1999).

Teoricamente, a população de plantas é definida pelo espaçamento entre linhas e pelo espaçamento entre plantas na linha, ou mesmo, pelo número de plantas por unidade de área (NAKAGAWA et al. 2000). Dentre as práticas de manejo, o arranjo espacial das plantas pode afetar expressivamente a velocidade de fechamento entre linhas, a produção de fitomassa, arquitetura das plantas, severidade de doenças, acamamento e a produtividade da cultura. Isso ocorre porque o arranjo afeta a competição intraespecífica e, conseqüentemente, a quantidade de recursos do ambiente, água, luz e nutrientes disponíveis para cada planta (RIZZARDI et al., 1994 ; EMBRAPA, 2015). O arranjo espacial pode ser alterado pela densidade de plantas e pelo espaçamento entre as fileiras (PEREIRA 2008; BRACHTVOGEL, 2012; EMBRAPA, 2015). O manejo da densidade de plantas tem como objetivo principal aumentar a eficiência da copa na interceptação da radiação incidente em relação ao tempo e à área da unidade (CARDOSO et al. 2018).

A densidade ótima da planta é pré-requisito para obter maior produtividade, e melhor desempenho no crescimento e desenvolvimento das plantas assim como a produção de grãos (SINGH, 2011). Além disso, pode variar de acordo com o genótipo, o tempo de semeadura, e com as condições de cultivo etc. (SEKHON et al. 1996, 2002).

O estudo do arranjo de plantas permite avaliar o modo e a intensidade da competição intraespecífica de uma cultivar. Para qualquer cultura, conforme Henderson et al. (2000), o conhecimento do arranjo de plantas mais adequado é essencial para a maximização econômica da produção. No caso do feijão-caupi, as densidades de plantas e os espaçamentos entre fileiras recomendados para cultivares de portes prostrado e semiprostrado são de 90 mil a 130 mil plantas por hectare com o espaçamento de 0,80 m a 1,00 m entre linhas. E para variedades de portes semiereto e ereto, recomendam-se 180 mil a 220 mil plantas por hectare com o espaçamento de 0,50 m a 0,70 m (EMBRAPA, 2017).

Um estudo feito com feijão- mungo- verde na Austrália, relataram que as densidades de plantas de 20, 30 ou 40 plantas/m² não influenciaram a produtividade de grãos de feijão-mungo-verde. Por outro lado, esses autores relataram que o espaçamento entre filieras de 0,3 a 0,5 m aumentou a produtividade em 14% e a massa da parte aérea seca em 22% em relação

ao espaçamento entre fileiras de 0,9 a 1,0 m (RACHAPUTI et al., 2015). Um outro estudo feito com feijão comum, obtiveram em menores densidades de plantas (5 e 7 plantas m⁻¹) e adubação nitrogenada em cobertura, aumento na produção de matéria seca acima do solo e no número de vagens por planta sem redução na produtividade de grãos (Soratto et al., 2017). Por outro lado, com a mesma cultura e combinação de diferentes densidades (100, 200, 300, 400 e 500 mil plantas ha⁻¹), Bezerra et al. (2012) relataram que com o aumento da densidade de plantas de 100 para 500 mil plantas ha⁻¹, houve reduções de 30,19% no diâmetro do caule, 96,5% no número de ramos, 63,8% no número de vagens por planta e de 67,6% na produção de grãos por planta.

2.4 Zinco no solo e na planta

O zinco (Zn) é nutriente essencial para as plantas, pois está envolvido em muitos processos fisiológicos e bioquímico. Exemplo disso são as defesas antioxidativa, síntese de proteína, metabolismo do carboidrato, metabolismo da auxina que são necessários para a estabilidade das membranas e para a organização estrutural dos ácidos nucleicos (BROADLEY et al., 2007).

O zinco também participa da síntese do aminoácido triptofano. O triptofano é precursor do ácido indol acético (IAA), principal hormônio de crescimento vegetal (TAIZ e ZEIGER, 2004). Além disso, o zinco também está envolvido no metabolismo do nitrogênio nas plantas e, conseqüentemente, na síntese protéica (TSUI, 1948; MENGEL et al., 1987).

A ausência de Zn reduz o crescimento, a viabilidade do pólen, floração e produção de grãos (CAKMAK, 2000; PANDEY et al., 2006). Plantas deficientes em zinco são menores, raquíticas e com internódios curtos, com cloroses internervais e folhas lanceoladas (MALAVOLTA, 2006). Longnecker e Robson (1993), em seus estudos afirmam que o movimento de Zn na planta é afetado pela quantidade de Zn presente no solo. O zinco é absorvido pelas raízes das plantas na forma de Zn²⁺, e move-se através do xilema para alimentar dos brotos até as folhas (BROADLEY et al., 2007). Esse nutriente pode ser armazenado em hastes e mobilizado mais tarde para o crescimento de tecido, além disso, o zinco pode passar do tecido senescente para o crescimento de tecido vegetativo e órgãos reprodutivos (LONGNECKER e ROBSON, 1993). Outro fator importante para a disponibilidade do Zn é o pH do solo. O aumento do pH diminui a solubilidade do zinco nos solos (LINDSAY e NORVELL, 1969). Deste modo, solos com altos valores de pH reduz a concentração, o gradiente de concentração e, portanto, a absorção e disponibilidade de zinco nas plantas.

A aplicação de Zn pode ser realizada via solo ou via foliar (SLATON et al., 2001). O modo de fornecimento de Zn às plantas é fundamental para garantir maior absorção e para maximizar o efeito na produção do feijão e no incremento de zinco no grão. A aplicação via foliar melhora o aproveitamento do Zn, uma vez que a quantidade desse nutriente recomendada pelas culturas é geralmente pequena. Além disso, essa forma de aplicação evita uma possível contaminação ambiental pelo excesso de zinco, uma vez que a dose aplicada é inferior à dose que recomendada para a aplicação via solo (COUTINHO et al., 2007).

Diversos países como China, Austrália, Índia, Brasil, entre outros, têm realizado estudos com aplicação de Zn na folhagem e no solo, para incrementar o teor de Zn nos grãos de trigo, arroz e feijão-comum (PHATTARAKUL et al., 2012; RAM et al., 2016). Nesse contexto, Cambraia et al. (2019) conduziram ensaios em casa de vegetação com feijão-comum e mostraram que a aplicação de 8 kg ha⁻¹ de Zn na folhagem combinada com a aplicação de 5 kg ha⁻¹ de Zn no solo proporcionou o máximo teor de Zn nos grãos (67,5 mg kg⁻¹) e a aplicação de 5 kg ha⁻¹ de Zn na folhagem combinada com a aplicação de 10 kg ha⁻¹ de Zn no solo proporcionou o máximo teor de Zn nos grãos (66,0 mg kg⁻¹). Ainda, o Zn aplicado apenas na folhagem não afetou o teor de Zn no grão. Por outro lado, Gomez-Coronado et al. (2015) relataram que a média do teor de Zn nos grãos com aplicação de Zn na folhagem ou em combinação com a aplicação do Zn no solo foi 156% (2010-2011) e 260% (2012-2013) maior que a média do teor de Zn nos grãos no controle. Esses últimos autores relataram que, nos dois experimentos, a produtividade de grãos com aplicação de Zn na folhagem foi semelhante a produtividade de grãos no controle; no entanto, a aplicação de Zn no solo aumentou em 10% a produtividade e a aplicação combinada de Zn no solo + Zn na folhagem aumentou em 7% a produtividade.

2.5 Nutrição humana à base de zinco e ferro

A deficiência de Zn afeta o bom funcionamento do organismo, uma vez que esse elemento tem participação em mais de 200 enzimas no corpo humano (PEDRAZA et al., 2013). A falta de Zn no organismo está associada a complicações de saúde, tais como: deficiências físicas no crescimento, no sistema imunológico e na capacidade de aprendizado, aumento do risco de infecções, danos no DNA e desenvolvimento de câncer (GIBSON, 2006; LEVENSON & MORRIS, 2011). Estima-se que 17,3 % da população mundial é deficiente em Zn (WESSELLS et al., 2012).

A deficiência de Zn é o 11º fator que mais causa doença ou morte no mundo e o 5º fator mais importante em países em desenvolvimento (OMS. Deficiências de

Micronutrientes, 2011). Pessoas que têm como base da dieta alimentos de origem vegetal são predispostas à deficiência de Zn, devido, principalmente, à qualidade proteica e à alta ingestão de inositol hexafosfato (fitato) (Cruz et al., 2013). Deste modo, uma dieta à base de cereais refinados e pão não fermentado são considerados uma das principais razões para a ocorrência generalizada de deficiência de zinco em humanos, especialmente nos países em desenvolvimento (GIBSON, 2006), pois esses alimentos contêm altos níveis de fibra e fitato, os quais quelam com o zinco no intestino e evitam sua absorção (BUENO e CZEPIELEWSKI, 2007). De acordo com National Research Council (2001), a ingestão diária de zinco recomendada é 15 mg de Zn por dia para obter uma dieta nutricional eficiente. Por causa disso, alimentos enriquecidos com Zn podem reduzir os riscos de muitas doenças e também os gastos com saúde pública (BLACK et al., 2008).

A deficiência de Fe também é um fator de risco, especialmente para crianças com idade inferior a quatro anos, lactantes, gestantes e mulheres em idade fértil (WHO, 2001). Nos estudos realizados por Allen et al. (2006), a deficiência de Fe, em termos globais, afeta 50% das mulheres grávidas ou crianças com idade entre um e dois anos; 25% das crianças em idade pré-escolar; 40% das crianças com idade escolar; 30-55% dos adolescentes; e 35% das mulheres em idade fértil.

A consequência mais óbvia da deficiência de Fe é a anemia, com todos os sintomas clínicos e seqüelas extensamente descritos na literatura, destacando-se: fraqueza, palidez, tontura, irritação, cansaço, falta de ar e perda de apetite (KLEVAY, 1992). No entanto a falta de Fe no organismo pode comprometer outras funções orgânicas como a morte e funções no cérebro, além de baixa no sistema imunológico (GRAHAM et al., 2001).

Apesar da importância do ferro na manutenção de vários processos no organismo humano, pouco se tem feito para combater a deficiência desse mineral no mundo. Pesquisas realizadas por Rocha (2008) sugerem que a adição de altos teores de Fe nas culturas é uma ferramenta eficaz no combate à anemia e no fortalecimento do sistema imunológico. Devido à importância do Zn e do Fe, a biofortificação (genética ou agrônômica) é uma técnica barata e eficiente para incrementar a qualidade dos alimentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, L.; BENOIST, B.; DARY, O.; HURRELL, R. Guidelines on food fortification with micronutrients. Geneve: World Health Organization, Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2006.

- AMBROSANO, E.J.; FOLTRAN, D.E.; CAMARGO, M.S.; ROSSI, F.; SCHAMMASS, E.A.; SILVA, E.C.; AMBROSANO, G.M.; DIAS, F.L.F. Acúmulo de biomassa e nutrientes por adubos verdes e produtividade da cana planta cultivada em sucessão, em duas localidades de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 8, p. 199- 209, 2013.
- ANDRADE, F. P. ; FREIRE, E. C. ; COSTA, J. N. ; PEDROSA, M. B. . Melhoria do algodoeiro de fibras longas para cultivo sob condições irrigadas no Nordeste do Brasil. In: II Congresso Brasileiro de Algodão, 1999, Ribeirão Preto. Anais. Ribeirão Preto: EMBRAPA/CNPA, p. 566-568, 1999.
- ARAUJO, R.F.; ZONTA, J.B.; ARAUJO, E.F.; HEBERLE, E.; GARCIA ZONTA, F.M. Teste de condutividade elétrica para sementes de feijão-mungo-verde. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 33, p. 123 - 130, 2011.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; SANGOL, L. Arranjo de plantas em milho: análise do estado da arte. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.31, n.6, p.1075-1084, 2001
- ARNOLD, T.; KIRK, G.J.D; WISSUWA, M.; FREI, M.; ZHAO, F.; MASON, T.F.D.; WEISS, D.J. Evidence for the mechanisms of zinc uptake by rice using isotope fractionation. **Plant, Cell and Environment**, v. 33. p. 370–381, 2010.
- BARBIERI, P.A.L. ECHARTEM, A.D. MAGGIORA, V.O. SADRAS, H. ECHEVERRIA, F. H. ANDRADE. Maize evapotranspiration and water-use efficiency in response to row spacing. **Agronomy Journal**, v. 104, pp. 939-944, 2012.
- BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F.; BARBOSA, A. M. Interações entre calagem e zinco na absorção de nutrientes e produção de arroz de sequeiro em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 16, p. 355-360, 1992.
- BEZERRA, A. A. C.; NETO, F. A.; NEVES, A. C.; MAGGIONI, K. Comportamento morfoagronômico de feijão-caupi, cv. BRS Guariba, sob diferentes densidades de plantas. **Revista Ciências Agrárias**. v. 55, n. 3, p. 184-189, 2012.
- BLACK, R.E. Zinc deficiency, infectious disease and mortality in the developing world. **Journal of Nutrition**, v. 13, p. 1485-1489, 2008.
- BRACHTVOGEL, E. L.; PEREIRA, F. R. S.; CRUZ, S. S.; ABREU, M. L.; BICUDO, S. J. População, arranjo de plantas uniforme e a competição intraespecífica em milho. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 6, N.1, p. 75, 2012.
- BOUIS, H.E.; SALTZMAN, A. Improving nutrition through biofortification: a review of evidence from Harvest Plus, 2003 through 2016. **Global Food Security**. v. 12, p. 49–58, 2017.
- BROADLEY M. R.; WHITE P. J.; HAMMOND J. P.; ZELKO I.; LUX A. Zinc in plants. **New Phytol** v. 173, p. 677–702, 2007.
- BUENO, A. L.; CZEPIELEWSKI, M. A. Micronutrientes envolvidos no crescimento. **Revista HCPA**, Porto Alegre, v.27, n.3, p. 47-56, 2007.

- CAKMAK, I. Enrichment of cereal grains with zinc: Agronomic or genetic biofortification? **Plant and Soil**, v. 302, p. 1-17, 2008.
- CAKMAK, I. Role of zinc in protecting plant cells from reactive oxygen species. **New Phytology**, v. 146, p. 185–205, 2000.
- CAKMAK, I.; KALAYCI, M.; KAYA, Y.; TORUN, A.A.; AYDIN, N.; WANG, Y.; ARISOY, Z.; ERDEM, H.; YAZICI, A.; GOKMEN, O.; OZTURK, L.; HORST, W.J. Biofortification and localization of zinc in wheat grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 58, p. 9092-9102, 2010.
- CAMBRAIA, T. L. L.; FONTES, R. L. F.; VERGÜTZ, L.; VIEIRA, R. F.; NEVES, J. C. L.; NETTO, P. S. C.; DIAS, R. F. N. Agronomic biofortification of common bean grain with zinc. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 54, p. e01003, 2019.
- CARDOSO, M. J.; MELO, F. B.; RIBEIRO, V. Q. Population density on cowpea cultivars with different growth habits in the matopiba region. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 1, p. 235 – 239, jan. – mar., 2018.
- CIAMPITTI, A.I.; VYN, T. J. Maize nutrient accumulation and partitioning in response to plant density and nitrogen rate: II. Calcium, Magnesium, and Micronutrients. **Agronomy Journal**. v. 105, p. 6, 2013.
- COUTINHO, E. L. M.; SILVA, E.J.; SILVA, A. R. Crescimento diferencial e eficiência de uso em zinco de cultivares de milho submetidos a doses de zinco em um Latossolo Vermelho. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 29, p. 227-234, 2007.
- CRUZ, J. B. F.; SOARES, H. F. Uma Revisão Sobre O Zinco. *Ensaio e Ciência Ciências Biológicas, Agrárias e da Saúde*. Vol. 15, Nº. 1, Ano 2011.
- DUQUE, F.F.; PESSANHA, G.G. Comportamento de 10 cultivares de mungo verde, nos períodos "das águas" e "da seca" em condições de campo. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, 1989.
- EMBRAPA. Densidade de plantas na cultura da soja. ISSN 2176-2937 Novembro, 2015. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/AG01_49_168200511159.html. Acesso em: 14 de Novembro de 2019.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Cultivo de Feijão-Caupi**. Sistema de produção Emprapa. 27/06/2017. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1071732/1/SistemaProducaoCaupiCapituloPlantio.pdf>
- FAGERIA, N. K. Níveis adequados e tóxicos de Zn na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, v. 4, n. 3, p. 390-395, 2000.
- FAHAD, S.S.; HUSSAIN, S.; SAUD, S.; HASSAN, H.; MUHAMMAD, D.; SHAN, C.; CHEN, C.; WU, D.; XIONG, S.B.; KHAN, A.; JAN, K.; CUI, J.; HUANG. **Consequences of narrow crop row spacing and delayed *Echinochloa colona* and *Trianthema***

portulacastrum emergence for weed growth and crop yield loss in maize. *Weed Res.*, v. 54, p. 475-483, 2014.

FISCHER, R.A.; RAMOS, O. H. M.; MONASTERIO, I. O.; SAYRE, K. D. Yield response to plant density, row spacing and raised beds in low latitude spring wheat with ample soil resources: An update. *Field Crops Research*, v. 232, p. 95–105, 2019.

GIBSON, R. S. **Zinc: the missing link in combating micronutrient malnutrition in developing countries.** *Proceedings of Nutrition Society*, v. 65, p. 51–60, 2006.

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

GRAHAM, R. D., WELCH, R. M., AND BOUIS, H. E. **Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: principles, perspectives and knowledge gaps.** *Advance Agronomy*, v.70, p.77–142, 2001.

HARRIS, D.; RASHID, A.; MIRAJ, G.; ARIF, M.; SHAH, H. ‘On-farm’ seed priming with zinc sulphate solution - A cost-effective way to increase the maize yields of resource- poor farmers. *Field Crops Research*, v. 102, p. 119-127, 2007.

HENDERSON, T.L.; JOHNSON, B.L.; SCHNEITER, A.A. Row spacing, plant population, and cultivar effects on grain amaranth in the northern Great Plains. *Agronomy Journal*, v.92, p.329-336, 2000.

HOFFLAND, E., WEI, C. & WISSUWA, M. Organic Anion Exudation by Lowland Rice (*Oryza sativa* L.) at Zinc and Phosphorus Deficiency. *Plant Soil*. v. 283, p. 155, 2006.

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

KLEVAY L. M. Clinical signs of iron deficiency. *European Journal of Clinical Nutrition*. v. 46, p. 607-8, 1992.

LEVENSON, C. W., MORRIS, D. Zinc and neurogenesis: making new neurons from development to adulthood. *Advances in Nutrition*, v. 2, p. 96–100, 2011.

LINDSAY, W. L., AND NORVELL, W. A. *Soil Science*. SOC. Amer., Proc. 33, 62-68, 1969.

LIN, S. S. & ALVES, A.C. Comportamento de linhagens de feijão-mungo (*Vigna radiata* L.) em Santa Catarina. *Ciência Rural*, v. 32, p. 553-558, 2002.

LONGNECKER, N. E.; ROBSON, A. D. Distribution and Transport of Zinc in Plants. A. D. Robson (ed.), *Zinc in Soils and Plants*. 1993.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 2006.

MENECHINNI, W.M.; NÓBREGA, L.H.P. Alelopatia de resíduos culturais de crambe em superfície e incorporados ao solo sobre variedades de feijão. *Journal of Agronomic*

Sciences, v.3, p. 50-61, 2014.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 4ed. Berna: Internacional Potash Institute, p. 687, 1987.

MIRANDA, G.V.; SANTOS, I.C.; PELUZIO, J.M.; BESSA, J.C.A.; COIMBRA, R.R. Comportamento de linhagens de feijão-mungo no sul do Estado do Tocantins. **Horticultura Brasileira**, v. 14, p. 148-151, 1996.

MIRANDA, G.V.; SANTOS, I.C.; PELUZIO, J.M.; SANTOS G.R. Avaliação de feijão mungo *Vigna radiata* L em diferentes populações de plantas. **Revista Ceres**. v. 44, n. 251, p.241-248, 1997.

NALAMPANG, A. **Grain legumes in the tropics**. Bangkok: Department of Agriculture, p. 98, 1992.

NAKAGAWA, J., LASCA, D. C., NEVES, G. S., NEVES, J. P. S., SILVA, M. N., Sérgio Veraguas SANCHES, S. V., BARBOSA, V., ROSSETTO, C. A. V. Densidade de plantas e produção de amendoim. **Scientia agricola** v.57 n.1, 2000.

NASSER, L.C.B. VIEIRA, R.F. Desempenho de espécies de *Phaseolus* e *Vigna* no cerrado de Planaltina, DF. **Científica**, v. 25, p. 223-227, 1997.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL RECOMMENDED DIETARY ALLOWANCES. Reference intakes for vitamin A, vitamin K, as, B, Cr, Cu, I, Fe, Mn, Mo, Ni, Si and Zn (pp. 37– 46). Washington D.C., New York: Institute of Medicine/Food and Nutrition Board. National Academy Press, 2001.

OLIVEIRA, L. L. DE P.; OLIVEIRA, T. A.; FARIAS, W. C.; NETO, R. C.; LEA C. DE MEDEIROS, L. C. Efeito da água residuária de dessalinizadores na germinação de feijão-mungo-verde. **Revista ACSA**. v. 9, n. 2, p. 37-41, abr - jun, 2013.

PANDEY, N., PATHAK, G. C., & SHARMA, C. P. Zinc is critically required for pollen function and fertilization in lentil. **Journal of Trace Element and Medical Biology**, v. 20, p. 80–96, 2006.

PEREIRA, F. R. S., CRUZ, S. C.S., ALBUQUERQUE, A. W., SANTOS, J. R., SILVA, E. T. Arranjo espacial de plantas de milho em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.12, n.1, p.69–74, 2008.

PHATTARAKUL, N.; RERKASEM, B.; LI, L. J.; WU, L. H.; ZOU, C. Q. H. RAM.; SOHU, V. S.; KANG, B. S.; SUREK, H.; KALAYCI, M.; YAZICI, A.; ZHANG, F. S.; CAKMAK, I. Biofortification of rice grain with zinc through zinc fertilization in different countries. **Plant Soil**. v.361, 1–2, p. 131–141, 2012.

POEHLMAN, J.M. What we have learned from the International Mungbean Nurseries. In: INTERNATIONAL MUNGBEAN SYMPOSIUM, 1., 1978, Los Baños, Philippines. Proceedings... Taipei, Taiwan: AVRDC, p. 97-100, 1978.

ROZANE, D.E.; PRADO, R.M.; SIMÕES, R.R.; ROMUALDO, L.M. Resposta de plântulas de arroz cv. BRS-Soberana à aplicação de zinco via semente. **Revista Ciência Agrotecnologia**, v.32, n.3, p.847-854, 2008.

RACHAPUTI, R.C.N; CHAUHAN, Y.; DOUGLAS, C.; MARTIN, W.; KROSCHE, S.; AGIUS, P.; KING, K. Physiological basis of yield variation in response to row spacing and plant density of mung bean grown in subtropical environments. **Field Crops Research**. v.183, p. 14–22, 2015.

RAM, H.; RASHID, A.; ZHANG, W.; DUARTE, A.P.; PHATTARAKUL, N.; SIMUNJI, S.; KALAYCI, M.; FREITAS, R.; RERKASEM, B.; BAL, R.S.; MAHMOOD, K.; SAVASLI, E.; LUNGU, O.; WANG, Z.H.; BARROS, V.L.N.P. de; MALIK, S.S.; ARISOY, R.Z.; GUO, J.X.; SOHU, V.S.; ZOU, C.Q.; CAKMAK, I. Biofortification of wheat, rice and common bean by applying foliar zinc fertilizer along with pesticides in seven countries. **Plant and Soil**, v.403, p.389-401, 2016.

RAWAT, N.; NEELAM, K.; TIWARI, V.K.; DHALIW, H.S. Biofortification of cereals to overcome hidden hunger. **Plant Breeding**, v. 132, p. 437–445, 2013.

RIZZARDI, M.A; BOLLER, W; DALLOGLIO, R.C. Distribuição de plantas de milho, na linha de semeadura, e seus efeitos nos componentes de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 29, n. 8, p. 1231-1236. 1994.

ROCHA, M. D. M. R. Avaliação dos conteúdos de proteína, ferro e zinco em germoplasma elite de feijão-caupi. **Embrapa Meio-Norte**, 2008.

ROCHA, D.M.; BOIAGO, N.P.; CRUZ-SILVA, C.T.A.; PACHECO,F.P.; SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. Análises de alimentos: métodos químicos e biológicos. 3. ed. Viçosa, MG: Editora UFV, 2002.

SAYÃO, F.A.D.; BRIOSO, P.S.T.; DUQUE, F.F. Comportamento de linhagens de mungo verde em condições de campo em Itaguaí, RJ. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 26, n. 5, p. 659-664, 1991.

SCHREINEMACHERS, P.; SEQUEROS, T.; RANI, S.; RASHID, MD. A.; GOWDRU, N. V.; RAHMAN, M. S.; AHMED, M. R.; NAIR, R. M. Counting the beans: quantifying the adoption of improved mungbean varieties in South Asia and Myanmar. **Food Security**. v. 11. p. 623, 2019.

SEKHON, H. S.; SINGH, G.; BRAR, J. S. Effect of population density and planting geometry on the growth and yield of mungbean (*Vigna radiata* (L.) Wilczek) genotypes. **Environmental Ecology**, v.20: 897-901, 2002.

SEKHON, H. S.; SINGH. G.; SIDHU, P.S.; SARLACH, R.S. Effect of varying plant densities on the growth and yield of new pigeonpea hybrid and other genotypes. **Crop Improvement**, 23: 93-98, 1996.

SINGH, G.; SEKHON, H.S.; SINGH, G.; BRAR, J.S.; BAINS, T.S.; SHANMUGASUNDARAM, S. Effect of Plant Density on the Growth and Yield of Mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] Genotypes under Different Environments in India and Taiwan. **Research Article**., v. 6 (7), p. 573-583, 2011.

SLATON, N. A.; WILSON JUNIOR, C. E.; NTAMATUNGIRO, S.; NORMAN, R. J.; BOOTHE, D. L. Evaluation of zinc seed treatments for rice. **Agronomy Journal**, Amsterdam, v. 93, p. 152-157, 2001.

SORATTO, R. P; CATUCHI, T. A; SOUZA, E. F. C; GARCIA, J. L. N. Plant density and nitrogen fertilization on common bean nutrition and yield. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 3, p. 670 – 678, jul. – set., 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TEIXEIRA, I. R. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola) a diferentes densidades de semeadura e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 2, p. 399-408, abr./jun. 2000.

TSUI, C. The role of zinc in auxin synthesis in the tomato plant. **American Journal of Botany**, v.35, p.172-180, 1948.

VIEIRA R.F.; PINTO C.M.F.; VIANA L.F. Comportamento de linhagens de mungo- verde no verão-outono na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Ceres**, v. 52, p. 153- 164, 2005.

VIEIRA, R.F. & NISHIHARA, M.K. Comportamento de cultivares de mungo-verde (*Vigna radiata*) em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Ceres**, v. 39, p. 60-83, 1992.

VIEIRA, R.F. & VIEIRA, C. Comportamento de feijões dos gêneros *Vigna* e *Phaseolus* no consórcio com milho plantado simultaneamente. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 31, p. 781-787, 1996.

VIEIRA, R.F. Cultura do feijão-mungo. **Informe Agropecuário**, v. 16, p. 37-46, 1992.

VIEIRA, R. F, VIEIRA, C. Leguminosas graníferas. **Editores UFV**. Viçosa, p. 129-140, 2001.

VIEIRA, R.F.; DE PAULA JÚNIOR, T.J.; JACOB, L.L.; LEHNER, M.S; SANTOS, J. Desempenho de genótipos de feijão-mungo-verde semeados no inverno na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Ceres**, v. 58, p. 402-405, 2011.

VIEIRA, R.F.; OLIVEIRA, V.R.; VIEIRA, C. Cultivo do feijão-mungo-verde no verão em Viçosa e em Prudente de Moraes. **Horticultura Brasileira**, v. 21, p. 37-43, 2003.

VIEIRA, R.F.; OLIVEIRA, V.R.; VIEIRA, C.; PINTO, C.M.F. Ouro Verde MG2: nova cultivar de Mungo verde para Minas Gerais. Brasília: **Horticultura Brasileira**,v.20, n.1, p.119- 120, março 2002.

VYN, T.J., AND M. TOLLENAAR. Changes in chemical and physical quality parameters of maize grain during three decades of yield improvement. **Field Crops Research**, v. 59, p. 135–140, 1998.

WESSELLS K.R, BROWN K.H. Estimating the global prevalence of zinc deficiency: results based on zinc availability in national food supplies and the prevalence of stunting. **PLoS One**. 2012;7(11):e50568.

WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. **Guideline**: use of multiple micronutrient powders for home fortification of foods consumed by infants and children 6-23 months of age. Geneva, 2011. Disponível em: <http://www.who.int/nutrition/publications/micronutrients/guidelines/mmpowders-infant6to23mons-children2to12yrs/en/>. Acesso: 28/03/2017.

YUYAMA, K. **Feijão-moyashi**. In: CARDOSO, M.O. Hortaliças não-convencionais da Amazônia. Brasília: SPI-Embrapa, 1997. p. 53-61.

ZHANG, X.; SHANG, P.; QIN, F.; ZHOU, Q.; GAO, B.; HUANG, H.; YANG, H.; SHI, H.; YU, L. Chemical composition and antioxidative and anti-inflammatory properties of ten commercial mung bean samples. **LWT - Food Science and Technology**. v. 54, p. 171 – 178, 2013.

CAPÍTULO II

Manuscrito de acordo com as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo

EFEITOS DA DENSIDADE DE PLANTAS NO DESEMPENHO DO FEIJÃO-MUNGO-VERDE E NOS TEORES DE ZINCO E FERRO DOS GRÃOS

RESUMO: Uma opção para aumento da renda dos trabalhadores rurais maranhenses é o plantio da leguminosa feijão-mungo verde (*Vigna radiata*). Nossa hipótese é que a densidade de plantas aumenta o desempenho do feijão-mungo-verde e incrementa os teores de Fe e Zn nos grãos. Objetivou-se determinar os efeitos da densidade de plantas de feijão-mungo-verde no desempenho e no incremento dos teores de Fe e Zn nos grãos da cultura. Foram conduzidos dois experimentos em campo, um em 2018 e outro em 2019. Os tratamentos foram arrançados no esquema fatorial [(4 x 2) + 1]: densidades de plantio (8, 12, 16 ou 20 plantas por metro), espaçamento entre fileiras (30 ou 45 cm) e um tratamento adicional (45 cm entre fileiras e 12 plantas por metro + Zn aplicado no sulco de plantio e na folhagem). Aos 30 dias após a emergência (DAE), esse tratamento recebeu abubação com Zn na folhagem. A cultivar utilizada foi a Camaleão. Foram analisados a emergência, estande inicial, início do florescimento, aparecimento da primeira vagem madura, altura da planta, teores de Zn e N nas folhas, produtividade de grãos e teores de Fe e Zn nos grãos. Com 30 cm entre fileiras, a densidade de 8 plantas/m aumentou a produtividade em 35%-87%, em relação à densidade de 20 plantas/m. Com 45 cm entre fileiras, a densidade de 20 plantas/m aumentou a produtividade em 77%, em relação à densidade de 8 plantas/m. Com 30 cm entre fileiras, a densidade de 8 plantas/m aumentou o teor de Zn no grão em 8% e o teor de Fe no grão em 39%, em relação à densidade de 20 plantas/m. Com 45 cm entre fileiras, a densidade de 20 plantas/m aumentou o teor de Zn no grão em 12,6% e o teor de Fe no grão em 17%, em relação à densidade de 8 plantas/m. Nossos resultados sugerem que o espaçamento de 30 cm entre fileiras, com as densidades de 8-12 plantas/m; ou o espaçamento de 45 cm entre fileiras, com as densidades de 16-20 plantas/m aumentam a produtividade e o teor de Zn no grão do feijão-mungo-verde. Densidades de 8-12 plantas/m aumenta o teor de Fe no grão, independente do espaçamento entre fileiras.

Palavras-chave: *Vigna radiata* L., espaçamento entre fileiras, micronutriente, grãos biorfortificados.

INTRODUÇÃO

No Maranhão, tem-se usado o sistema de corte e queima da vegetação nativa ou agricultura itinerante, que melhora a fertilidade dos solos com as cinzas produzidas pela queima da vegetação. A pouca utilização de insumos e a baixa disponibilidade dos principais nutrientes no solo levam os agricultores familiares do tropico úmido a obter baixos rendimentos de arroz, milho e feijão (Aguiar et al., 2013). Logo, alternativa para diversificar a produção e aumentar a renda dos agricultores familiares maranhenses é o plantio de uma leguminosa pouco cultivada no Maranhão, o feijão-mungo-verde (*Vigna radiata* L). Essa cultura tem o potencial de exportação para a Índia, bem como o aumento do consumo do broto de feijão (*moyashi*) pelos brasileiros, que é altamente nutritivo e rico em Ca, P, Fe, Na e K (Vieira et al., 2001), e que pode ser uma fonte de alimento nutritivo para aliviar a má nutrição das famílias que vivem em áreas com reduzido nível de tecnologia.

Outro importante fator ligado à baixa fertilidade dos solos é a deficiência Zn na dieta nutricional humana. Mais de 2 bilhões de pessoas no mundo sofrem com deficiência de Fe e Zn, e a deficiência de Zn ocupa a quinta posição de importância no aparecimento de doenças nas pessoas que vivem nesses países (IZiNCG, 2004). Em média, os grãos de feijão-comum contém cerca de 55 mg/kg de Fe e de 35 mg/kg de Zn (Beebe et al., 2000). No entanto, a maior parte da população brasileira não ingere a recomendação diária de Zn para obter uma dieta nutricional eficiente, que é 15 mg de Zn por dia (National Research Council, 2001). Com objetivo de aumentar o teor de Zn no grão do feijão-comum, pulverizado com 8 kg ha⁻¹ de Zn na folhagem e 5 kg ha⁻¹ de Zn aplicado no solo proporcionou o teor de 67,5 mg kg⁻¹ de Zn no grão (Cambraia et al., 2019). Isso sugere que é possível aumentar o teor de Zn no grão por meio da biofortificação agrônômica, porém o aumento do teor de Fe não acompanhou positivamente o aumento do teor de Zn nos grãos (Cambraia et al., 2019).

O feijão-mungo-verde é uma leguminosa granífera de cultivo muito difundido na Ásia, que se adapta facilmente a diversas condições tropicais e subtropicais, de fácil plantio, ciclo de vida de 65 dias, produtividade de 1200 a 2600 kg/ha, e as sementes são pequenas com massa de 100 sementes de 3,5 a 7,0 g (Vieira et al. 2003; Vieira et al. 2005).

Uma forma de maximizar a produtividade de grãos, a absorção de Fe e Zn e sua translocação para os grãos é conhecer uma combinação ótima do espaçamento entre fileiras e da densidade de plantas (Henderson et al., 2000). O feijão-mungo-verde é uma cultura que é pouco cultivada no Maranhão, logo é necessário obter informações agrônômicas básicas, como arranjo e população de plantas no campo para maximizar a produtividade e o incremento de

Fe e Zn no grão. A densidade de plantas ideal determina as condições favoráveis para a absorção dos elementos essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, como luz, água e nutrientes (Argenta et al., 2001). Ademais, a densidade de plantas adequada é um passo importante para alcançar a sustentabilidade e a rentabilidade dessa cultura no Maranhão.

Na Austrália, o espaçamento de 0,3 a 0,5 m entre filieras aumentou em 14% a produtividade e 22% a massa da parte aérea seca das plantas de feijão-mungo-verde em relação ao espaçamento de 0,9 a 1,0 m entre fileiras (Rachaputi et al., 2015). Há estudos que mostram que menores espaçamento entre fileiras proporcionou aumento na eficiência do uso da água (Barbieri et al., 2012) e da fotossíntese (Fang et al., 2018; Song et al., 2020), redução de plantas espontâneas (Fahad et al., 2014) e aumento na produtividade de grãos (Rachaputi et al., 2015). Estes últimos autores relataram que o aumento de 20 para 40 plantas/m² não influenciou a produtividade de grãos de feijão-mungo-verde. No arroz, o aumento da densidade de plantas aumentou a massa da parte aérea seca, o conteúdo de Zn na parte aérea e nas raízes das plantas (Arnold et al., 2009; Mori et al., 2015). Por outro lado, o aumento da densidade de plantas de 4 para 8 plantas/m² reduziu o teor de Zn grão de milho (Vyn e Tollenaar, 1998) e de 5,4 para 10,4 plantas/m² não influenciou o teor de Zn no grão de milho (Ciampitti et al., 2013). Na literatura encontramos trabalhos que estudaram estratégias de biofortificação para aumentar os teores de Fe e Zn nos grãos das culturas (Cakmark et al., 2010; Joy et al., 2015; Ram et al., 2016; Cambraia et al., 2019), bem como o manejo para aumentar a produtividade das culturas (Rachaputi et al., 2015; Fischer et al., 2019) e a base fisiológica de feijão-mungo-verde (Mueller e Vyn, 2018).

O aumento da densidade de plantas de arroz proporcionou o uso mais eficiente do Zn pelas plantas, devido a maior exploração do solo pelas raízes ou pelo aumento da superfície específica da raiz (Arnold et al., 2010). No entanto, não encontramos trabalhos que estudaram o efeito da densidade de plantas no incremento dos teores de Fe e Zn nos grãos do feijão-mungo-verde. Diante disso, hipotetizamos que a densidade de plantas aumenta o desempenho do feijão-mungo-verde e incrementa os teores de Fe e Zn nos grãos. Logo, o nosso objetivo foi determinar os efeitos da densidade de plantas de feijão-mungo-verde no desempenho e no incremento dos teores de Fe e Zn nos grãos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos em campo, um em 2018 e outro em 2019. Os

experimentos foram realizados nas áreas experimentais da Universidade Estadual do Maranhão, no Campus São Luís, São Luís (2° 30' S e 44° 18' W, altitude de 24 m). O clima da região na classificação de Köppen é do tipo AW', equatorial quente e úmido, com duas estações bem definidas: uma chuvosa, que se estende de janeiro a junho, e outra seca, com déficit hídrico acentuado de julho a dezembro. As precipitações anuais variam de 1700 mm a 2300 mm, das quais mais de 80% ocorrem de janeiro a maio. Os solos das áreas experimentais são classificados como Argissolo Vermelho- Amarelo Distrófico arênico com textura franco arenosa (Embrapa, 2013). As características físico-químicas desse solo na camada de 0-20 cm, antes da instalação do experimento de 2018 e 2019, foram: pH CaCl₂ = 4,3 e 3,8; matéria orgânica = 14 e 14 g dm⁻³; P = 1 e 2 mg dm⁻³; K = 0,3 e 2,1 mmol_c dm⁻³; Ca = 12 e 12 mmol_c dm⁻³; Mg = 7 e 5 mmol_c dm⁻³; H + Al³⁺ = 22 e 40 mmol_c dm⁻³; soma de base = 20,7 e 23,7 cmol_c dm⁻³; V = 49% e 48%; areia grossa = 400 e 400 g kg⁻¹; areia fina = 470 e 470 g kg⁻¹; silte = 30 e 30 g kg⁻¹ e argila = 100 g kg⁻¹ e 100 g kg⁻¹.

Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram arrançados no esquema fatorial 4 x 2 + 1: densidades de plantio (8, 12, 16 ou 20 plantas por metro) e espaçamentos entre as fileiras (30 e 45 cm). O tratamento adicional foi constituído de 12 plantas por metro, com fileiras espaçadas de 45 cm e adubação com 5 kg ha⁻¹ de Zn no sulco de plantio + 8 kg ha⁻¹ de Zn via foliar no primeiro ensaio e 4 kg ha⁻¹ de Zn no segundo. No segundo ano a dose de Zn via foliar foi reduzida para 4 kg ha⁻¹ devido à queima das folhas no cultivo anterior. A fonte de Zn foi o ZnSO₄.7H₂O. A parcela foi constituída de quatro fileiras espaçadas de 45 cm ou cinco fileiras espaçadas de 30 cm, com 4 m de comprimento. A área útil da parcela foi de 3,6 m². As duas linhas externas serviram de bordadura. Foi utilizado a cultivar Camaleão-36829. Foi usado o delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições.

Instalação e condução dos experimentos

O preparo da área foi realizado sem aração e gradagem. A vegetação espontânea foi roçada e toda a palhada foi deixada sobre a superfície do solo e não recebeu nenhum preparo para a semeadura. Na adubação de plantio, foram usados 500 kg ha⁻¹ do formulado 4-14-8 (N-P₂O₅-K₂O). Aos 20 dias após a emergência (DAE) das plântulas, foi aplicado 100 kg ha⁻¹ de ureia (45% de N). O adubo nitrogenado foi aplicado em sulco a 5 cm de profundidade e 10 cm de distância da planta. Em seguida, esse sulco foi coberto com uma camada de terra para

minimizar a volatilização da ureia.

Antes da semeadura, as sementes foram expurgadas para eliminar todas as possíveis pragas existentes nas sementes. O gás utilizado para o expurgo das sementes foi o fosfeto de alumínio (gás toxin) com dosagem de 10 comprimidos/m³. O expurgo foi realizado em tambor e as sementes ficaram expostas ao produto por sete dias. Na semeadura foram usadas 50% mais sementes que o número de plantas desejadas por metro. Aos 7 dias da emergência foi feito o desbaste para obter a densidade de plantas planejada. A aplicação da solução de Zn na folhagem foi feita com pulverizador manual com bico do tipo leque XR 110-02. Foi estimada a quantidade de água necessária para molhar todas as plantas da parcela com o mínimo de escoamento. Para evitar a deriva do produto, todas as parcelas em torno da parcela que recebeu o Zn na folhagem foram protegidas com lona plástica.

Após o plantio, as plantas foram irrigadas por fita gotejadora com lâmina de água de 6 mm por dia para complementar as chuvas. O controle de plantas daninhas foi realizado com capina manual, quando necessário. Aos 18 DAE foi aplicado o produto Cerbobin WP 700 para o controle de doença fungica (*Cercospora canescen*). Foi utilizado 93 g/ha do produto e o volume de calda de 200 L ha⁻¹. Aos 40 DAE foi aplicado o produto Bioneem (312,5 mL ha⁻¹) para prevenir o ataque de pulgão (*Aphis craccivora*). O produto apresenta 90% de óleo de neem (*Azadirachta indica*), 5% de sinergista e 5% de emulsionante. Juntamente com o Bioneem foi adicionado o espalhante adesivo (Nonifenol etoxilado - 12,5 g ha⁻¹) para aumentar a aderência do produto à planta. Foi utilizado o volume de calda de 250 L ha⁻¹.

Características avaliadas

Nos dois experimentos foram feitas as seguintes avaliações: data da emergência, data do início da floração e data do aparecimento da primeira vagem madura. A data de emergência foi anotada quando 90% das plântulas emergentes estavam em posição vertical. O início de floração foi anotado quando 50% das plantas apresentavam pelo menos uma flor aberta. A data da primeira vagem madura foi anotada quando 50% das plantas apresentavam pelo menos uma vagem preta.

Aos 29 DAE, na fase de florescimento, foram feitas leituras com o clorofilômetro (SPAD 502, Minolta Co. Ltd., Osaka, Japan). Foram realizadas 30 leituras com o clorofilômetro em 10 folhas jovens plenamente expandidas (uma leitura em cada folíolo) de 10 plantas tomadas ao acaso de cada parcela. As leituras foram realizadas entre a borda e a nervura central da folha. A média das leituras realizadas dos 30 folíolos representou a média da parcela.

Aos 42 DAE, no início da maturação das vagens, foi avaliada a altura da planta. Para a

medição da altura da planta, foram escolhidas, ao acaso, 10 plantas, e a medida foi feita entre a superfície do solo e a folha mais alta do dossel da planta.

Na colheita, foi feita a contagem de todas as plantas na área útil de 3,6 m² para determinar o estande final. Em seguida, as vagens dessas plantas foram coletadas para determinar os componentes da produtividade (número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos) e a produtividade de grãos. O número de vagens por planta foi obtido pela divisão do número de vagens pelo estande final. O número de semente por vagem foi obtido pela divisão do número de sementes pelo número de vagens. Posteriormente, os grãos foram pesados para estimar a produtividade de grãos. Ademais, foram separadas duas amostras ao acaso de 100 sementes, para avaliar a massa de 100 grãos. A produtividade de grãos e massa de 100 grãos foi padronizada para 130 g kg⁻¹ de água.

As 10 folhas plenamente expandidas nas quais foram realizadas as leituras do clorofilômetro foram coletadas. Essas folhas e os grãos colhidos foram acondicionados em sacos de papel e colocadas em estufa de ventilação forçada de ar a 70 °C, até atingirem massa constante. Em seguida, foram moídas em moinho tipo Willey com peneira de 20 mesh. Nas folhas foram quantificados os teores de N e de Zn. Para quantificar o teor de N na folha, amostras de 0,5 g do material vegetal seco foram submetidas a digestão a seco no autoanalyser TruMac CNS (LECO Corp., St-Joseph, MI, USA). Para quantificar o teor de Zn na folha e nos grãos, amostras de 0,2 g do material vegetal seco foram submetidas a digestão em ácido nítrico por 45 min em microondas Multiwave 3000 (Anton Paar GmbH, Graz, Austria). Posteriormente, as amostras foram diluídas em 20 mL de água destilada Milli-Q (18.2 MΩ cm; Fisher Scientific UK Ltd, Loughborough, UK). Foi usado um padrão de referência 1573a (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, USA) para comparar os extratos. Nos extratos obtidos foi determinado o teor de Zn na folha e nos grãos por espectrometria de massa acoplada ao plasma induzido (ICP – MS, Thermo Fisher Scientific iCAPQ, Thermo Fisher Scientific, Bremen, Germany).

Análises estatísticas

Os dados foram submetidos a normalidade dos erros pelo teste de Shapiro-wilk e a homogeneidade de variâncias pelo teste de Bartlett. O teor de Zn na folha foi transformado para log(x), pois os dados não estavam normais e/ou homogêneos. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA). O teste F foi usado para comparar médias dos dois espaçamentos entre fileiras e o contraste do tratamento adicional vs. tratamento constituído de 12 plantas por metro e espaçamento de 45 cm entre fileiras. O teste de Duncan

foi usado para comparar as médias das densidades de plantas ao nível de 5% de probabilidade. Para a execução das análises estatísticas foi utilizado o pacote estatístico ExpDes.pt (Ferreira et al., 2013) do software livre R (R Core Team, 2019).

RESULTADOS

A emergência das plântulas de feijão-mungo-verde ocorreu três dias após o plantio. As plantas iniciaram o florescimento em torno de 30 DAE e apresentaram a primeira vagem madura em torno de 45 DAE (Tabela 1). O tempo entre o início da floração e o aparecimento da primeira vagem madura foi de 17 dias no plantio de 2018 e de 15 dias no de 2019. Duas colheitas foram realizadas aos 55 e 67 DAE em 2018 e aos 60 e 67 DAE em 2019 (Tabela 1). No dia da colheita, a maioria das plantas apresentavam folhagem amarela ou amarelo-esverdeada.

Tabela 1. Início da floração, aparecimento da primeira vagem madura e colheita do feijão-mungo-verde, cultivar Camaleão, em 2018 e 2019, São Luís- MA.

| Variáveis | 2018 | 2019 |
|--|-------|-------|
| Emergência ao início da floração ¹ (dias) | 29 | 30 |
| Emergência à primeira vagem madura ² (dias) | 46 | 45 |
| Início da floração à primeira vagem madura ^{1 e 2} (dias) | 17 | 15 |
| Emergência à colheita ³ (dias) | 55-67 | 60-67 |

¹O início da floração foi anotado quando 50% das plantas apresentavam pelo menos uma flor aberta.

²A primeira vagem madura foi anotada quando 50% das plantas apresentavam pelo menos uma vagem preta.

³A primeira colheita foi feita aos 10 dias após a maturação da primeira vagem.

Em 2018, o efeito de densidade de plantas foi altamente significativo sobre a leitura de SPAD. A média da leitura de SPAD na densidade de 20 plantas/m foi 16% e 15% maior que a média da leitura de SPAD na densidade de 8 e 12 plantas/m, respectivamente (Figura 1A). O contraste entre tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m vs tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m + Zn sobre o índice SPAD foi não significativo.

Em 2019, a interação entre espaçamento entre fileiras e densidade de plantas sobre a leitura de SPAD foi não significativa (Tabela 2). O efeito do espaçamento entre fileiras sobre a leitura de SPAD foi não significativo, mas o efeito de densidade de plantas foi altamente significativo sobre essa variável. A média do índice SPAD na densidade de 16 plantas/m foi 17,5%, 13% e 12% maior que a média da leitura de SPAD na densidade de 8, 12 e 20 plantas/m, respectivamente (Figura 1B). O contraste entre tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m vs tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m + Zn sobre o índice SPAD foi não significativo.

Em 2018, a interação entre espaçamento entre fileiras e densidade de plantas sobre o teor de N na folha foi altamente significativa (Tabela 2). No espaçamento entre fileiras de 30 cm, as densidades de plantas não influenciaram o teor de N na folha. No espaçamento entre fileiras de 45 cm, a média do teor de N na folha na densidade de 16 e 20 plantas/m foi 15% maior que a média do teor de N na folha na densidade de 8 e 12 plantas/m (Figura 1C). A diferença entre o contraste tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m vs tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m + Zn (33,2 vs 25,1) foi muito altamente significativo sobre o teor de N na folha.

Em 2018, a interação entre espaçamento entre fileiras e densidade de plantas sobre o teor de Zn na folha foi não significativa (Tabela 2). O efeito do espaçamento entre fileiras no teor de Zn na folha foi não significativo, mas o efeito de densidade de plantas foi altamente significativo sobre essa variável. A média do teor de Zn na folha na densidade de 20 plantas/m foi 27% maior que a média do teor de Zn na folha na densidade de 8 plantas/m (Figura 1D). A diferença entre o contraste tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m vs tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m + Zn (42,2 vs 535,4) foi muito altamente significativo sobre o teor de Zn na folha.

Tabela 2. Valor de P para o índice SPAD, teor de N na folha, teor de Zn na folha, altura da primeira vagem, produtividade de grãos, número vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de 100 grãos, teor de Zn e Fe no grão, no espaçamento entre fileiras, densidade de plantas, interação entre esses fatores e contraste entre tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m (T45/12) vs tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m + Zn (T45/12 + Zn), em São Luís- MA, 2018 e 2019.

| Variáveis | Espaçamento (E) | Densidade de plantas (DP) | E x DP | T45/12 vs 45/12+Zn |
|---------------------|-----------------|---------------------------|--------|--------------------|
| 2018 | | | | |
| Índice SPAD | 0,721 | 0,002 | 0,964 | 0,189 |
| Teor de N na folha | <0,001 | 0,543 | 0,009 | <0,001 |
| Teor de Zn na folha | 0,300 | 0,003 | 0,211 | <0,001 |
| Altura da planta | 0,295 | 0,167 | 0,496 | 0,196 |
| Vagens por planta | <0,001 | 0,017 | 0,126 | 0,616 |
| Grãos por vagem | 0,034 | 0,244 | 0,674 | 0,998 |
| Massa de 100 grãos | 0,117 | 0,690 | 0,505 | 0,343 |
| Produtividade | 0,079 | 0,178 | <0,001 | 0,999 |
| Teor de Zn no grão | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Teor de Fe no grão | <0,001 | <0,001 | 0,004 | 0,003 |
| 2019 | | | | |
| Índice SPAD | 0,168 | 0,029 | 0,162 | 0,926 |
| Altura da planta | 0,262 | 0,732 | 0,242 | 0,999 |
| Vagens por planta | 0,321 | 0,525 | 0,838 | 0,999 |
| Grãos por vagem | 0,257 | 0,197 | 0,781 | 0,092 |
| Massa de 100 grãos | 0,025 | 0,875 | 0,003 | 0,999 |
| Produtividade | 0,006 | 0,601 | <0,001 | 0,953 |

| | | | | |
|--------------------|-------|-------|-------|--------|
| Teor de Zn no grão | 0,491 | 0,009 | 0,561 | <0,001 |
| Teor de Fe no grão | 0,017 | 0,263 | 0,038 | 0,738 |

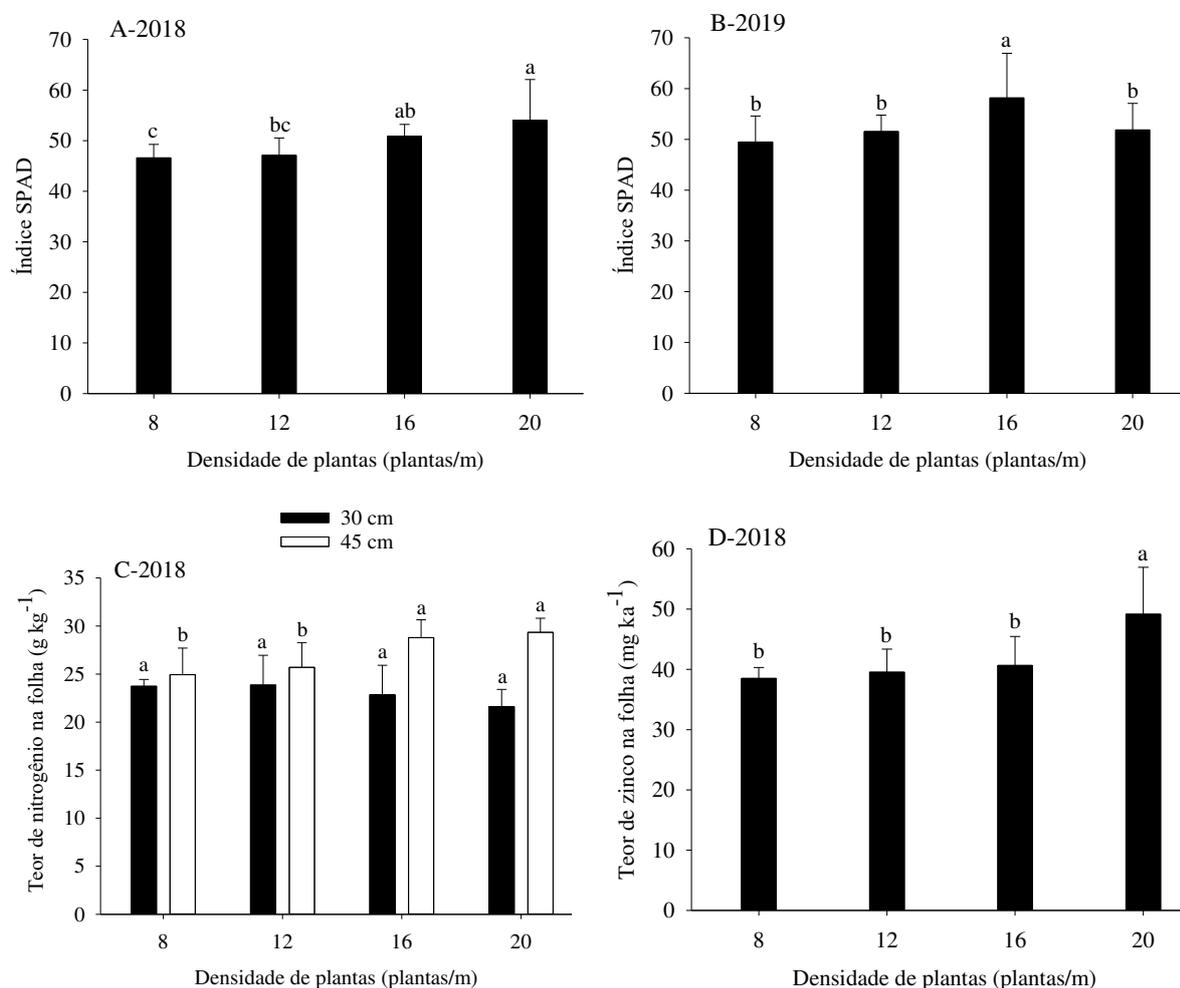


Figura 1. Efeitos da densidade de plantas no índice SPAD (A e B), efeito da densidade de plantas dentro dos espaçamentos entre fileiras no teor de N na folha (C) e efeitos da densidade de plantas no teor de Zn na folha (D), em São Luís-MA. As médias das variáveis dependentes foram comparadas pelo teste de Duncan ($n = 4$ ou $n = 8$) ao nível de 5% de probabilidade. A barra vertical representa o desvio-padrão.

Nos dois experimentos, os efeitos do espaçamento entre fileiras, da densidade de plantas, da interação entre esses fatores e do contraste entre o tratamento 45 cm entre fileiras e 12 plantas/m vs tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas + Zn foram não significativos para a altura da planta (Tabela 2). A média \pm DP da altura da planta foi $45,2 \pm 6,9$ cm em 2018 e $42,1 \pm 4,5$ cm em 2019.

As densidades de plantas de 8, 12, 16 ou 20 plantas/m, no espaçamento de 30 cm entre as

fileiras, respectivamente, corresponderam ao estande final de plantas por hectare de 281300 (5,4% a mais), 375700 (6% a menos), 391000 (26% a menos) e 452100 (32% a menos) que ao estande de plantas planejadas.

As densidades de plantas de 8, 12, 16 ou 20 plantas/m, no espaçamento de 45 cm entre as fileiras, respectivamente, corresponderam ao estande final de plantas por hectare de 191000 (7,5% a mais), 225700 (15% a menos), 318800 (10% a menos), e 273600 (38% a menos) que ao estande de plantas planejadas.

Em 2018, a interação entre espaçamentos entre fileiras e densidades de plantas sobre o número de vagens por planta foi não significativo (Tabela 2). A média do número de vagens por planta no espaçamento 45 cm entre fileiras foi 39% maior (5,7 vs 4,1) que a média do número de vagem por planta no espaçamento 30 cm entre fileiras. A média do número de vagens por planta foi 6,0; 5,1; 4,6 e 4,0 para as densidades de 8, 12, 16 ou 20 plantas/m. O contraste entre tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m vs tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m + Zn sobre o número de vagens por planta foi não significativo (Tabela 2). A interação entre espaçamentos entre fileiras e densidades de plantas sobre o número de grãos por vagem foi não significativo (Tabela 2). O efeito do espaçamento entre fileiras sobre o número de grãos por vagem foi significativo, mas o efeito de densidade de plantas foi não significativo sobre essa variável. A média do número de grãos por vagem no espaçamento 45 cm entre fileiras foi 16% maior (5,7 vs 4,9) que a média do número de grãos por vagem no espaçamento 30 cm entre fileiras. O contraste entre tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m vs tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m + Zn sobre o número de grãos por vagens foi não significativo (Tabela 2). Os efeitos do espaçamento entre fileiras, das densidades de plantas, a interação entre esses fatores e o contraste entre tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m vs tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m + Zn sobre a massa de 100 grãos foi não significativa (Tabela 2).

Em 2019, a interação entre espaçamento entre fileiras e densidade de plantas sobre a massa de 100 grãos foi altamente significativa (Tabela 2). No espaçamento entre fileiras de 45 cm, a média da massa de 100 grãos nas densidades de plantas de 8, 12, 16 ou 20 plantas/m foi 10; 7,7; 12,5 e 27% maior que a média da massa de 100 grãos no espaçamento entre fileiras de 30 cm. A média da massa de 100 grãos foi 6,9; 6,8; 6,8 e 7,2 g para as densidades de plantas de 8, 12, 16 ou 20 plantas/m. O contraste entre tratamento adicional 45 cm entre fileira e 12 plantas/m vs tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m + Zn sobre a massa de 100 grãos foi não significativo.

Em 2018, a interação entre espaçamento entre fileiras e densidade de plantas sobre a

produtividade de grãos grão foi muito altamente significativa (Tabela 2). No espaçamento de 30 cm entre fileiras, a média da produtividade na densidade de 8 plantas/m foi 87% maior que a média da produtividade na densidade de 20 plantas/m. No espaçamento de 45 cm entre fileiras, as densidades de plantas não influenciaram a produtividade (Figura 2A). O contraste entre tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m vs tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m + Zn sobre a produtividade foi não significativo, ou seja, não houve efeito significativo do Zn aplicado no solo e na folha sobre a produtividade.

Em 2019, a interação entre espaçamento entre fileiras e densidade de plantas sobre a produtividade de grãos foi muito altamente significativa (Tabela 2). No espaçamento de 30 cm entre fileiras, a média da produtividade na densidade de 8 plantas/m foi 26,5% e 35% maior que a média da produtividade na densidade de 16 e 20 plantas/m, respectivamente. No espaçamento de 45 cm entre fileiras, a média da produtividade na densidade de 20 plantas/m foi 77% e 48% maior que a média da produtividade na densidade de 8 e 12 plantas/m (Figura 2B). O contraste entre tratamento adicional 45 cm entre fileira e 12 plantas/m vs tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m + Zn sobre a produtividade foi não significativo.

Em 2018, a interação entre espaçamento entre fileiras e densidade de plantas sobre o teor de Zn no grão foi muito altamente significativa (Tabela 2). No espaçamento entre fileiras de 30 cm, a média do teor de Zn no grão na densidade de 8 plantas/m foi 15%, 17% e 8% maior que a média do teor de Zn no grão na densidade de 12, 16 e 20 plantas/m. No espaçamento entre fileiras de 45 cm, a média do teor de Zn no grão na densidade de 20 plantas/m foi 12,6 % maior que a média do teor de Zn no grão na densidade de 8 plantas/m (Figura 2C). A diferença entre o contraste tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m vs tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m + Zn (34,0 vs 41,5) foi muito altamente significativo sobre o teor de Zn no grão.

Em 2019, a interação entre espaçamento entre fileiras e densidade de plantas sobre o teor de Zn no grão foi não significativa (Tabela 2). O efeito do espaçamento entre fileiras sobre o teor de Zn no grão foi não significativo, mas o efeito de densidade de plantas foi altamente significativo sobre essa variável. A média do teor de Zn no grão na densidade de 20 plantas/m foi 9%, 15% e 12% maior que a média do teor de Zn no grão na densidade de 8, 12 e 16 plantas/m, respectivamente (Figura 2D). A diferença entre o contraste tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m vs tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m + Zn (33,3 vs 46,3) foi muito altamente significativo sobre o teor de Zn no grão.

Em 2018, a interação entre espaçamento entre fileiras e densidade de plantas sobre o teor de Fe no grão foi altamente significativa (Tabela 2). No espaçamento entre fileiras de 30 cm, a

média do teor de Fe no grão na densidade de 8 plantas/m foi 39% maior que a média do teor de Fe no grão na densidade de 20 plantas/m. No espaçamento de 45 cm entre fileiras, a média do teor de Fe no grão na densidade de 8 plantas/m foi 17% maior que a média do teor de Fe no grão na densidade de 20 plantas/m (Figura 2E). A diferença entre o contraste tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m vs tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m + Zn (54,2 vs 45,5) foi altamente significativo sobre o teor de Fe no grão (Tabela 2).

Em 2019, a interação entre espaçamento entre fileiras e densidade de plantas sobre o teor de Fe no grão foi significativa (Tabela 2). No espaçamento entre fileiras de 30 cm, as densidades de plantas não influenciaram o teor de Fe nos grãos. No espaçamento de 45 cm entre fileiras, a média do teor de Fe no grão na densidade de 8 plantas/m foi 16% maior que a média do teor de Fe no grão na densidade de 20 plantas/m (Figura 2F). O contraste entre tratamento adicional 45 cm entre fileira e 12 plantas/m vs tratamento 45 cm entre fileira e 12 plantas/m + Zn sobre o teor de Fe nos grãos foi não significativo.

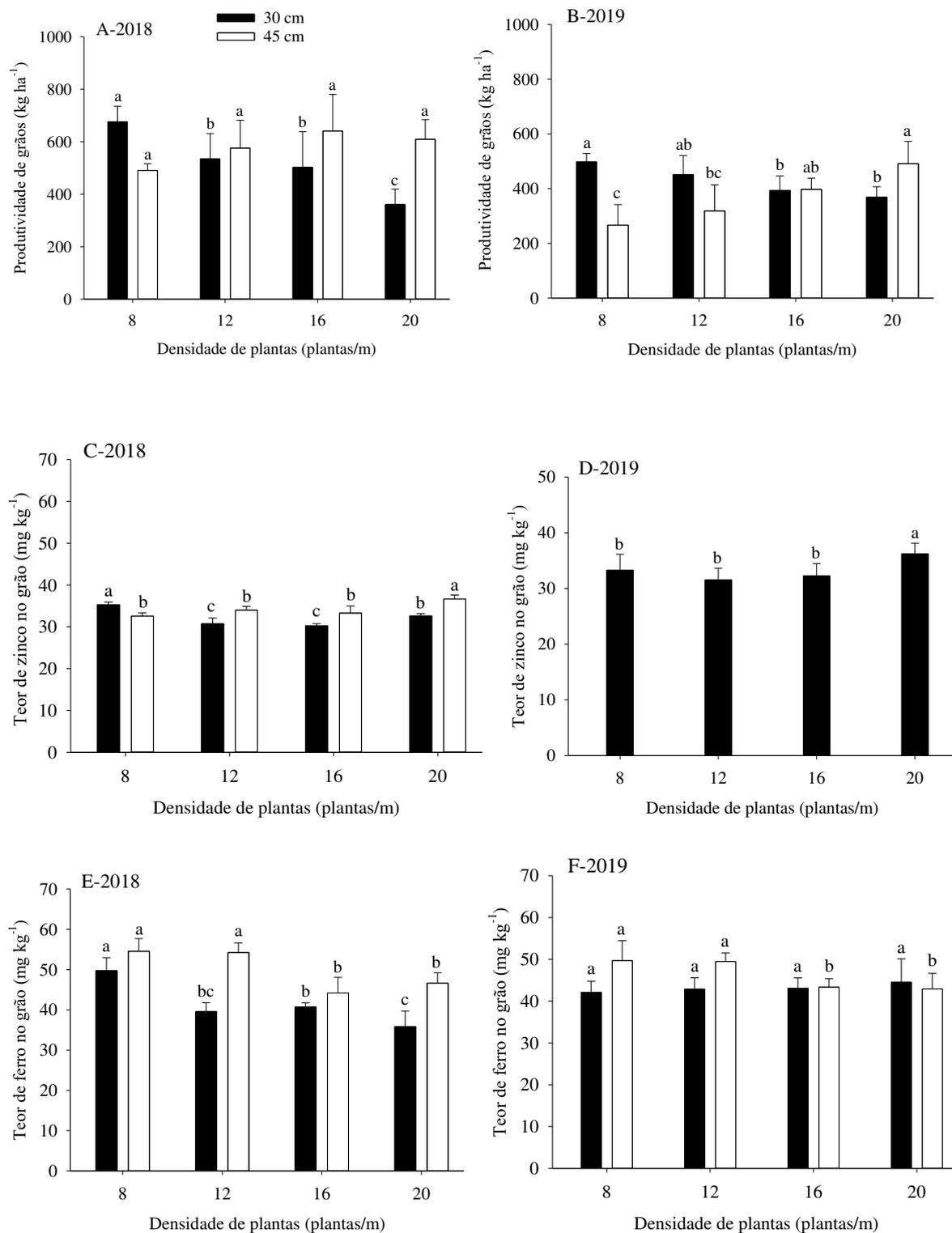


Figura 2. Efeitos da densidade de plantas dentro dos espaçamentos entre fileiras na produtividade de grãos (A e B), no teor de Zn no grão (C e D) e no teor de Fe no grão (E e F), em São Luís- MA. As médias das variáveis dependentes foram comparadas pelo teste de Duncan ($n = 4$ ou $n = 8$) ao nível de 5% de probabilidade. A barra vertical representa o desvio-padrão.

DISCUSSÃO

Nossa hipótese foi que a densidade de plantas aumenta a produtividade do feijão-mungo-verde os teores de ferro e zinco nos grãos. Com o aumento da densidade de plantas, a produtividade de grãos aumentou no espaçamento de 45 cm entre fileiras e a produtividade de grãos reduziu no espaçamento de 30 entre fileiras. Sugerimos que isso ocorreu devido a maior regularidade do plantio entre as plantas na combinação entre o espaçamento de 30 cm e a densidade de 8 e 12 plantas/m, bem como no espaçamento de 45 cm entre fileiras e a densidade de 16 e 20 plantas/m (Rachaputi et al., 2015; Rasul et al., 2012; Singh et al., 2011). Nesses espaçamentos e com essas densidades de plantio, as plantas foram melhores distribuídas e competiram menos por espaço, água, luz e nutrientes, e as raízes exploram mais o solo para absorver os nutrientes necessários para o crescimento e desenvolvimento (Rizzardi et al., 1994; Embrapa, 2015). A produtividade de grãos no espaçamento de 30 cm na densidade de 8 plantas/m proporcionou uma produtividade máxima de grãos de 676 kg ha⁻¹ em 2018 e 498 kg ha⁻¹ em 2019. A produtividade de grãos no espaçamento de 30 cm na densidade de 12 plantas/m proporcionou uma produtividade máxima de grãos de 451 kg ha⁻¹, em 2019. No espaçamento de 45 cm, a média da produtividade de grãos na densidade de 16 e 20 plantas/m proporcionaram uma produtividade máxima de 397 e 471 kg ha⁻¹, em 2019, respectivamente. Nossos resultados são semelhante ao estudo feito por Rasul et al. (2012), no qual relataram que o espaçamento entre fileiras de 30 cm proporcionou uma produtividade máxima de sementes (676 kg ha⁻¹) no feijão- mungo- verde, enquanto a menor produtividade de sementes (595 kg ha⁻¹) foi obtido com espaçamento entre linhas de 60 cm. Outros estudos com espaçamento entre fileiras e densidade de plantas no feijão- mungo-verde já foram feitos por Rachaputi et al. (2015), onde o espaçamento de 0,3 a 0,5 m entre filieras aumentou em 14% a produtividade e 22% a massa da parte aérea seca das plantas de feijão-mungo-verde em relação ao espaçamento de 0,9 a 1,0 m entre fileiras. Singh et al. (2011) em seus estudos afirmam que 40 plantas/ m² renderam mais grãos de feijão-mungo-verde que 33 plantas/ m². Em média, houve aumento de 8,9% (2002) e 5,1% (2003) no rendimento de grãos de 40 plantas/ m² em relação a 33 plantas/ m² em dois anos de plantio. A produtividade do feijão-mungo-verde na região, provavelmente, não foi maior devido aos solos coesos e de baixa fertilidade natural do Maranhão. No entanto, os valores de produtividade de grãos do presente estudo estão próximos dos valores de produtividade encontrados em trabalhos realizados no Paquistão e Santa Catarina (Rasul et al., 2012; Lin; Alves, 2002). Além disso, o feijão- mungo tem potencial para atingir 2500 kg ha⁻¹ em regiões que possuem melhores condições de

fertilidade em relação à nossa região (Vieira et al. 2003; Vieira et al. 2005). Ademais, os autores relataram que foram realizados tratamentos fitossanitários, com o objetivo de aumentar a produtividade. Os resultados aqui obtidos indicam que o feijão-mungo-verde tem boa produtividade quando comparado ao feijão-caupi, no qual tem rendimento médio de $\sim 500 \text{ kg ha}^{-1}$ no Maranhão (CONAB, 2019). Ainda, o feijão-mungo-verde se adapta bem às condições maranhenses, pois é uma cultura de ciclo curto e não é suscetível a pragas, o que pode torná-lo uma potencial fonte de renda para os agricultores familiares da região.

Embora não tenha havido efeito significativo na interação dos fatores para os componentes da produtividade em 2018 e 2019, os valores das médias dos fatores individuais do número de vagens por planta e número de grãos por vagem, considerados em conjunto, contribuíram para o aumento da produtividade das plantas do feijão-mungo-verde. Em 2019, a interação dos fatores influenciou positivamente a massa de 100 grãos. As médias das densidades de plantas no espaçamento de 45 cm entre fileiras foram maiores que as médias das densidades de plantas no espaçamento de 30 cm entre fileiras. Não houve efeito da aplicação de Zn sobre o número de grãos por vagem, número de vagens por planta e massa de 100 grãos em 2018 e 2019.

A interação dos fatores influenciou positivamente os teores de Zn e Fe no grão, em 2018. Em relação ao teor de zinco no grão, a média dessa variável foi maior na densidade de 8 plantas/m quando estudada no espaçamento de 30 cm entre fileiras. No espaçamento de 45 cm entre fileiras, a densidade de 20 plantas/m obteve a maior média do teor de Zn nos grãos. Em 2019, a densidade de 20 plantas/m incrementou o maior teor de Zn nos grãos, independente do espaçamento. Em estudos feitos por Arnold et al., (2010), o aumento da densidade de plantas de arroz proporcionou o uso mais eficiente do Zn pelas plantas, devido a maior exploração do solo pelas raízes ou pelo aumento da superfície específica da raiz. Para o teor Fe no grão, no espaçamento de 45 e 30 cm entre fileiras a densidade de 8 plantas/m incrementou o maior teor de Fe nos grãos. Devido a maior regularidade nas densidades de plantio nesses tratamentos, as plantas competiram menos entre si e puderam desenvolver mais suas raízes e consequentemente, extraíram mais nutrientes. A aplicação de Zn na folhagem influenciou positivamente o teor de Zn nos grãos (2018 e 2019) e o teor de Fe nos grãos (2018). Para ferro nos grãos o tratamento em que não foi aplicado Zn (45 cm entre fileira e 12 plantas/m) teve 1,2 vezes mais teor de Fe no grão que o tratamento que foi aplicado zinco (45 cm entre fileira e 12 plantas/m + Zn). Nossos resultados referentes aos teores de Fe e Zn nos grãos foram similares aos obtidos por Beebe et al. (2000) com cultivares de feijões comerciais (média \pm DP de $60 \pm 10,2 \text{ mg kg}^{-1}$ para Fe e $29 \pm 4,5 \text{ mg kg}^{-1}$ para Zn) e com 1031 acessos

provenientes do Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) ($55 \pm 8,3 \text{ mg kg}^{-1}$ para Fe e $35 \pm 5,0 \text{ mg kg}^{-1}$ para Zn). Entretanto Mesquita et al. (2007) observaram valores superiores de ferro ($71,37$ a $126,9 \text{ mg kg}^{-1}$) e zinco ($42,83$ a $63,90 \text{ mg kg}^{-1}$), em linhagens de feijões. Nossos resultados qualifica o feijão-mungo-verde com relevante para consumo como fonte de micronutrientes, pois os valores de ferro e zinco aqui obtidos são equiparados a cultivares de feijões comerciais. Pesquisas feitas para aumentar o teor de Zn nos grãos foram demonstradas por Cakmark et al. (2010); Joy et al. (2015); Ram et al. (2016) e Cambraia et al. (2019). No entanto, essa foi a primeira pesquisa que avaliou o efeito da densidade de plantas no incremento de Fe e Zn nos grãos do feijão-mungo-verde em solos de baixa fertilidade natural do Maranhão. Nessa região do Maranhão, a prática de enriquecimento de sementes não é feita, e acreditamos que, se essas sementes forem produzidas e entregues aos produtores familiares, poderia beneficiá-los, pois pode ser uma fonte de alimento nutritivo para aliviar a má nutrição das famílias que vivem em áreas com reduzido nível de tecnologia. Além disso, é uma alternativa para diversificar a produção e possivelmente aumentar a renda e o consumo do broto de feijão (*moyashi*), pelos agricultores familiares maranhenses.

Para o estande final de plantas, houve uma redução no número de plantas à medida que as densidades aumentaram. Esse fato, provavelmente foi devido a elevada população de plantas usada (20 plantas/m). Essa densidade de plantas aumenta a competição por água, nutrientes e luminosidade, e aumenta a vulnerabilidade das plantas ao ataque de patógenos. Além disso, o alto índice de precipitação pluvial, as condições quente e úmida da região e o aumento da densidade de plantas pode ter favorecido o desenvolvimento da mancha foliar (*Cercospora canescens*) no experimento. Em um estudo feito por Vieira et al. (2001), sobre doenças e pragas no feijão-mungo-verde, afirmaram que dentre as doenças fúngicas, a mancha foliar (*Cercospora canescens*) e o míldio-pulvurulento (*Erysiphe polygoni*) são comumente encontradas nas regiões produtoras e podem causar perdas de produtividade de até 50% devido a queda das folhas. No entanto, no nosso trabalho, a doença surgiu desde a fase vegetativa da planta, o que ocasionou queda das folhas e morte das plântulas.

A interação espaçamento entre fileiras e densidade de plantas não influenciou a leitura SPAD, nos dois experimentos. No entanto, houve efeito significativo das densidades de plantio sobre a leitura de SPAD. As densidades de 16 e 20 plantas/m obtiveram 1,2 vezes a maior leitura SPAD, quando comparada com a densidade de 8 plantas/m, nos dois experimentos. Nosso trabalho difere das pesquisas feitas por Werner et al. (2016), que verificaram que as menores densidades de plantas de soja demonstraram maiores valores no índice SPAD. Em outras pesquisas realizadas por Yokoyama et al. (2018), o índice SPAD não foi influenciado pela

densidade de plantas entre os estádios V4 a R5.4 da soja. A interação dos fatores influenciou positivamente o teor de N na folha, em 2018. As maiores densidades de plantas (16 e 20 plantas/m) no espaçamento de 45 cm entre fileiras obtiveram maiores teores de N na folha quando comparadas com as menores densidades de plantas (8 e 12 plantas/m). No trabalho realizado por Werner et al. (2016), o teor de N na folha não foi influenciado pelo número de plantas por área. Houve efeito da aplicação de Zn sobre o Teor de N na folha.

A interação espaçamento entre fileiras e densidade de plantas não influenciou o teor de Zn na folha, em 2018. No entanto, houve efeito significativo das densidades de plantio sobre essa variável. Na densidade de 20 plantas/m proporcionou o incremento de 49,1 mg kg⁻¹ do teor de Zn na folha. Mori et al. (2016), em estudos realizados na cultura do arroz, afirmam que o aumento das densidades de plantas aumentou o conteúdo de Zn na parte aérea das plantas. A aplicação de Zn na folha também influenciou positivamente o teor Zn na folha. Autores como Ram et al. (2016), Coronado et al. (2015) e Cambraia et al. (2019) já estudaram os efeitos aplicação de zinco na folhagem combinada com a aplicação no solo e afirmam que essa combinação, aumenta o teor de zinco nos grãos.

CONCLUSÃO

Para maximizar a produtividade e o incremento do teor de Zn nos grãos do feijão-mungo-verde, nossos resultados sugerem o arranjo com as densidades de 8-12 plantas por metro e espaçamento de 30 cm entre as fileiras ou as densidades de 16-20 plantas por metro e espaçamento de 45 cm entre as fileiras. Densidades de 8-12 plantas/m aumenta o teor de Fe no grão, independente do espaçamento entre fileiras. No entanto, mais pesquisas devem ser feitas com feijão-mungo-verde no estado, visto que os dados aqui apresentados foram obtidos em apenas dois cultivos.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelos recursos financeiros disponibilizados para a execução do projeto, e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar ACF, Cândido CS, Carvalho CS, Monroe PHM, Moura EG. Organic matter fraction and pools of phosphorus as indicators of the impact of land use in the Amazonian periphery. **Ecological Indicators**. 2013;30:158-164.
- Arnold T, Kirk GJD, Wissuwa M, Frei M, Zhao F, Mason TFD, Weiss DJ. Evidence for the mechanisms of zinc uptake by rice using isotope fractionation. **Plant, Cell and Environment**. 2009; 33:370–381.
- Barbieri PAL, Echartem AD, Maggiora VO, Sadras H, Echeverria FHA. Maize evapotranspiration and water-use efficiency in response to row spacing. **Agronomy Journal**. 2012;104: 939-944.
- Beebe S, Gonzalez AV, Rengifo J. Research on trace minerals the common bean. *Food and Nutrition Bulletin*. 2000; 21:387-391.
- Cakmak I, Kalayci M, Kaya Y, Torun AA, Aydin N, Wang Y, Arisoy Z, Erdem H, Yazici A, Gokmen O, Ozturk L, Horst WJ. Biofortification and localization of zinc in wheat grain. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 2010; 58:9092-9102.
- Cambráia TLL, Fontes RLF, Vergütz L, Vieira RF, Neves JCL, Netto PSC, Dias RFN. Agronomic biofortification of common bean grain with zinc. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 2019; 54:E01003.
- Ciampitti AI, Vyn TJ. Maize nutrient accumulation and partitioning in response to plant density and nitrogen rate: II. Calcium, Magnesium, and Micronutrients. **Agronomy Journal**. 2013; 105:.6.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da Safra Brasileira de Grãos – Safra 2018/2019, v.6 - Quarto levantamento, Brasília, 2019; 1-126.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária- Embrapa. Densidade de plantas na cultura da soja. ISSN 2176-2937 Novembro, 2015. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/AG01_49_168200511159.html. Acesso em: 14 de Novembro de 2019.
- Empresa Brasileira De Pesquisa Agropecuária – Embrapa. Sistema Brasileiro de classificação de solos. 2013; 3:353.
- Fahad SS, Hussain S, Saud S, Hassan H, Muhammad D, Shan C, Chen C, Wu D, Xiong SB, Khan A, Jan K, Cui J, Huang. Consequences of narrow crop row spacing and delayed *Echinochloa colona* and *Trianthemportulacastrum* emergence for weed growth and crop yield loss in maize. **Weed Research**. 2014; 54: 475-483.
- Fang X, Li Y, Nie J, Wang C, Huang K, Zhang Y, Zhang Y, She H, Liu X, Ruan R, Yuan X, Yi Z. Effects of nitrogen fertilizer and planting density on the leaf photosynthetic characteristics, agronomic traits and grain yield in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* M.). **Field Crops Research**, 2018; 219:160-168.
- Ferreira EB, Cavalcanti PP, Nogueira DA. Expdes.pt: Experimental Designs package (Portuguese). R package version. 2013; 1.1.2.

- Fischer RA, Ramos O HM, Monasterio IO, Sayre KD. Yield response to plant density, row spacing and raised beds in low latitude spring wheat with ample soil resources: An update. **Field Crops Research**. 2019; 232: 95–105.
- Gomez-Coronado FG, Poblaciones MJ, Almeida AS, Cakmak I. Zinc (Zn) concentration of bread wheat grown under Mediterranean conditions as affected by genotype and soil/foliar Zn application. **Plant Soil**. 2015; 401(1-2): 331–346.
- Henderson TL, Johnson BL, Schneiter AA. Row spacing, plant population, and cultivar effects on grain amaranth in the northern Great Plains. **Agronomy Journal**. 2000; 92: 329-336.
- Hotz C, Brown Kh. International Zinc Nutrition Consultative Group (IZINCG) Technical Document # 1. Assessment of the risk of zinc deficiency in population and options for its control. **Food and Nutrition Bulletin**. 2004; 25:1: S94 – 200.
- Joy EJM, Stein AJ, Young SD, Ander EL, Watts MJ, Broadley MR. Zinc-enriched fertilisers as a potential public health intervention in Africa. **Plant and Soil**. 2015; 389:1-24, 2015.
- Lin SS, Alves AC. Comportamento de linhagens de feijão-mungo (*Vigna radiata* L.) Em Santa Catarina. **Ciência Rural**. 2002; 32:553-558.
- Mesquita FR, Corrêa AD, Abreu CMP, Lima RAZ, Abreu AFB. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): composição química e digestibilidade proteica. **Ciência e Agrotecnologia**. 2007; 31:1114-1121.
- Mori A, Kirk GJD, Lee J-S, Morete MJ, Nanda AK, Johnson-Beebout SE and Wissuwa M. Rice Genotype Differences in Tolerance of Zinc-Deficient Soils: Evidence for the Importance of Root-Induced Changes in the Rhizosphere. *Front. Plant Science*. 2016; 6:1160.
- Mueller MS, Vyn JT. Physiological constraints to realizing maize grain yield recovery with silking-stage nitrogen fertilizer applications. **Field Crops Research**, 2018; 228: 102-109.
- National Research Council Recommended Dietary Allowances. Reference intakes for vitamin A, vitamin K, as, B, Cr, Cu, I, Fe, Mn, Mo, Ni, Si and Zn. Washington D.C., New York: Institute of Medicine/Food and Nutrition Board. National Academy Press. 2001; 37– 46.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2019. <https://www.R-project.org/>.
- Rachaputi RCN, Chauhan Y, Douglas C, Martin W, Krosch S, Agius P, King K. Physiological basis of yield variation in response to row spacing and plant density of mung bean grown in subtropical environments. **Field Crops Research**. 2015; 183: 14–22.
- Ram H, Rashid A, Zhang W, Duarte AP, Phattarakul N, Simunji S, Kalayci M, Freitas R, Rerkasem B, Bal RS, Mahmood K, Savasli E, Lungu O, Wang ZH, Barros VLNP De, Malik SS, Arisoy RZ, Guo JX, Sohu VS, Zou CQ, Cakmak I. Biofortification Of Wheat, Rice And Common Bean By Applying Foliar Zinc Fertilizer Along With Pesticides In Seven Countries. *Plant And Soil*. 2016;403:389-401.
- Rasul F, Cheema MA, Sattar A, Saleem MF, and Wahid MA. Evaluating the performance of three mungbean varieties grown Under varying inter-row spacing. *The Journal of Animal & Plant Sciences*. 2012; 22(4):1030-1035.

Rizzardi MA, Boller W, Dalloglio RC. Distribuição de plantas de milho, na linha de semeadura, e seus efeitos nos componentes de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**. 1994; 29(8):1231-1236.

Singh G, Sekhon HS, Singh G, Brar JS, Bains TS, Shanmugasundaram S. Effect of Plant Density on the Growth and Yield of Mungbean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek] Genotypes under Different Environments in India and Taiwan. **Research Article**. 2011; 6 (7): 573-583.

Song D, Tariq A, Pana K, Khan SU, Saleh TA, Gong S, Zhang A, Wu X. Influence of planting distance and density on the yield and photosynthetic traits of sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) Under an intercropping system with walnut (*Juglans regia*) saplings. *Soil & Tillage Research*, Received 18 June 2018; Received in revised form 26 September 2019; Accepted 18 October 2019. v. 196, 2020.

Soratto RP, Catuchi TA, Souza EFC, Garcia JLN. Plant density and nitrogen fertilization on common bean nutrition and yield. **Revista Caatinga, Mossoró**. 2017; 30:3.670 – 678.

Vieira RF, Pinto CMF, Viana LF. Comportamento de linhagens de mungo- verde no verão-outono na Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Ceres**. 2005;52:153- 164.

Vieira RF, Oliveira VR, Vieira C. Cultivo do feijão-mungo-verde no verão em Viçosa e em Prudente de Morais. **Horticultura Brasileira**. 2003; 21:37-43.

Vieira RF, Vieira C. Leguminosas graníferas. **Editora UFV**. Viçosa 2001; 129-140.

Vyn TJ, Tollenaar M.. Changes in chemical and physical quality parameters of maize grain during three decades of yield improvement. **Field Crops Research**, 1998; 59:135–140.

Werner F, Junior A AB; André S, Ferreira AS, Silva MAdeA, Henrique Debiasi H, Franchini JC. Soybean growth affected by seeding rate and mineral nitrogen. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2016;20:734-738.

Yokoyama AH, Junior AAB, Zucareli C, Ribeiro RH. Leaf area index and SPAD during the soybean development cycle at different plant densities and their relation to grain yield. **Revista de Ciências Agroveterinárias**. 2018;17:4.

ANEXO

Normas para publicação da Revista Brasileira do Solo

INFORMAÇÕES GERAIS

Idioma

Ao submeter seu manuscrito para RBCS, recomendamos que o artigo seja revisado por um profissional, especialmente se o inglês não é sua primeira língua. A revisão não é obrigatória, mas assegurará que o conteúdo científico esteja adequado para ser compreendido pelos revisores e editores. Após a aceitação do manuscrito, os editores poderão requerer, se necessário, a revisão do texto por um dos profissionais indicados nesse guia. Manuscritos com inglês inapropriado terão o processo de revisão interrompido/rejeitado pelos Editores e/ou revisores.

Exclusividade e originalidade

Não são aceitos manuscritos submetidos ou já publicados, ainda que parcialmente, em outra revista. O caráter de exclusividade deve ser declarado na *cover letter*. A Revista aceita manuscritos com conteúdo que tenha sido integralmente ou parcialmente divulgados na forma de resumos ou resumo expandido em congresso, ou que sejam parte de monografia, dissertações ou teses acadêmicas. As não conformidades do manuscrito quanto a exclusividade e originalidade serão de inteira responsabilidade do autor correspondente.

Conflito de interesse

Deverá ser declarado na *cover letter* que não há conflito de interesse dos autores de caráter financeiro, pessoal ou de outra natureza que tenha influenciado a produção do trabalho.

Autores

Todos os autores deverão ter o registro ORCID – Connecting Research and Researchers (<https://orcid.org/register>), o qual é exigido na submissão do ScholarOne™. Para saber como inserir o Orcid ao ScholarOne, clique no link a seguir: <https://www.rbcjournal.org/wp-content/uploads/2018/11/ORCID.x36232.pdf>. O autor correspondente deve declarar na *cover letter* que todos os autores estão cientes e de acordo com a submissão do manuscrito. A manifestação de desconhecimento ou desacordo com a submissão por

qualquer de um dos autores resultará na interrupção da tramitação do manuscrito. A troca do autor correspondente não é permitida. Alteração na ordem, ou a inclusão de autores será possível na etapa de revisões do manuscrito e deverá ser devidamente argumentada. A contribuição de cada autor para a concepção e produção do manuscrito deverá ser declarada na *Title Page*.

Manuscrito

Os manuscritos devem ser redigidos seguindo as normas para redação científica. A publicação de um experimento em partes (fracionamento do conteúdo) deve ser evitada, mas se comprovadamente necessária, os manuscritos devem ser submetidos em sequência, o que deve ser informado nas respectivas *covers letters*. O manuscrito deve-se adequar a uma das condições:

Artigo Científico – É fundamentado em uma hipótese científica original e ainda não esclarecida, que foi testada por meio de experimentação e, ou modelos teóricos, fundamentados no método científico, com adequado planejamento estatístico e discussão com adequada argumentação científica. Serão priorizados artigos que contribuam para a compreensão de processos/mecanismos que ocorrem no solo. As comparações de métodos, de variedades, de tipos de manejo, etc, se adequarão, excepcionalmente, à categoria de artigo científico apenas quando apresentarem base e, ou, justificativas científicas bem argumentadas e discutidas. O artigo deve conter Título, *Highlights*, *Abstract*, Palavras Chaves, Introdução, Material e Métodos, Resultados, Discussão, Conclusões, Referências e pode conter Tabelas e Figuras. É permitida a inclusão de material suplementar (ver Submissão).

Nota científica – Categoria de produção científica que descreve uma técnica, um aparelho, uma nova espécie ou observações e levantamentos de dados limitados a experimentos não repetíveis ou outras situações únicas. Uma nota científica não é um artigo de qualidade inferior. É, em geral, mais curta que o artigo científico. Não precisa ter a estrutura, mas deve obedecer ao mesmo rigor científico do artigo científico e tem o mesmo valor como publicação. Também é permitida a inclusão de material suplementar.

Revisão de Literatura – A submissão de revisão poderá ser espontânea ou induzida por convite do Editor Chefe, mas ambas passam pelo mesmo processo de tramitação. Além de

apresentar o estado do conhecimento a respeito de um tema específico, a revisão deve ter um caráter analítico e crítico, além de conter sugestões para pesquisa.

Carta ao Editor – Deve conter comunicação de matéria relevante para a ciência do solo ou comentário cientificamente crítico de artigos publicados na Revista. Nessa circunstância será concedido aos autores do referido artigo o direito de contra argumentar.

SUBMISSÃO DE MANUSCRITOS

A submissão do manuscrito será por meio da plataforma ScholarOne™ acessada pelos links: www.rbc.org.brhttp://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=01000683&lng=en&nrm=iso<https://mc04.manuscriptcentral.com/rbc-scielo>.

Os documentos obrigatórios para submissão são: cover letter, title page e main document. Tabelas, figuras e material complementar são opcionais.

Formatação

Todos os documentos devem ser produzidos em editor de texto, preferencialmente com o uso do Microsoft Word. Recomenda-se que o texto seja alinhado à esquerda, com fonte 12 e com espaçamento entre linhas de 1,5. Não deve ser inserido numeração de linha, porque elas são geradas na conversão automática do documento para o formato pdf pelo sistema de submissão.

Cover letter

A cover letter deve conter: 1) título do manuscrito, 2) declaração de que o trabalho é original e que não foi submetido nem publicado, na íntegra ou em parte, em nenhuma outra revista, 3) declaração de que todos os autores estão cientes do conteúdo do manuscrito e de acordo com a sua submissão, 4) declaração de que não há conflito de interesse financeiro, pessoal ou institucional com as informações e os resultados divulgados por meio do presente manuscrito e 5) informação sobre a relevância do artigo, ressaltando-se o problema, a(s) hipótese(s), o(s) objetivo(s) e, principalmente, o ganho de conhecimento que ele propicia para a ciência do solo. O item 5 será usado na avaliação preliminar sobre o mérito científico do artigo e será a base para decidir sobre o seguimento (ou não) no processo de avaliação.

Title Page

Deve conter o título de manuscrito. Os nomes dos autores sem abreviações e sem titulação.

As afiliações de cada um dos autores, vinculadas por chamadas numéricas, indicando sem abreviações Instituição, Instituto, Departamento, Programa, Cidade, Estado e País. É necessário marcar o autor correspondente com um asterisco e indicar seu e-mail e número de telefone. Agradecimentos aos indivíduos que contribuíram para a realização da pesquisa e produção do manuscrito e às instituições ou organizações públicas ou privadas que deram suporte financeiro ou logístico para a pesquisa.

Main Document

O documento é composto pelo Título, *Highlights*, *Abstract*, Introdução, Material e Métodos, Resultados, Discussão, Conclusões e Referências.

Título: Deve ser conciso e informativo, evitando símbolos, abreviaturas e fórmulas.

Recomenda-se que contenha no máximo 20 palavras. É importante considerar que o título é utilizado nos sistemas de busca.

Highlights: Deve-se fornecer de 3-5 pontos que representem as principais conclusões/resultados do manuscrito. Cada ponto apresentado deve conter no máximo 85 caracteres, incluindo espaços.

Abstract: Deve ser conciso e factual, contendo no máximo 400 palavras. O abstract é uma parte independente do artigo, portanto, ele deve ser suficiente por si só para apresentar as principais informações do artigo. Iniciar com uma breve caracterização do problema e a relevância do trabalho. O objetivo deve ser apresentado de forma explícita. Apresentar informações relevantes do material e métodos, os resultados mais importantes e a(s) conclusão(ões). Não deve incluir citações bibliográficas e símbolos ou abreviações que requeiram a leitura do texto para sua compreensão. Símbolos e abreviações necessárias devem ser definidas na primeira utilização no abstract.

Palavras-chave: Apresentar até cinco palavras diferentes daquelas que constam do título. Não utilizar preposições ou conjunções, tais como “de”, “ou”, “e”. Não utilizar termos compostos por mais de três palavras. Utilizar abreviações somente se forem de amplo conhecimento.

Introdução: A Introdução deve ser clara e concisa, mas suficiente para evidenciar a

relevância do problema abordado. As citações bibliográficas devem ser específicas e atualizadas, preferentemente de revistas com elevado índice de impacto. Evitar citações de tese, dissertações, boletins, anais de congressos e outros documentos de difícil acesso. A hipótese deve ser mencionada de forma explícita. A hipótese é uma afirmação (explicação) cuja verossimilidade pode, ou não, ser verificada e a partir da qual se extrai uma conclusão. Portanto, a hipótese não deve ter a conotação de pergunta nem condicional; ela deve ser uma afirmativa, utilizando-se o verbo no indicativo presente, com uma relação causa-efeito. A introdução deve ser finalizada com a indicação do(s) objetivo(s).

Material e Métodos: Pode ser dividido em subitens para facilitar a apresentação dos procedimentos adotados. Deve ser suficientemente detalhado para permitir que trabalho possa ser repetido. As informações devem ser ordenadas segundo uma hierarquia lógica, que possibilite uma fácil compreensão. Para trabalhos de campo é relevante indicar a localização com as coordenadas geográficas, condições climáticas e classe de solos. Para os artigos que contemplam estudos no Brasil, a classificação dos solos deve ser feita de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS, edição 2018) e, adicionalmente, apresentar entre parênteses, a classe equivalente consistente com sistemas de classificação internacionais (WRB ou Soil Taxonomy). Para a classificação em sistemas internacionais poderá ser utilizada tabela de equivalência parcial, disponível no site da revista ou no Anexo J do SiBCS. Se os dados completos estiverem disponíveis, os solos podem ser também classificados de acordo com algum dos sistemas internacionais. Para realizar a correspondência das classes de solos, consulte a **Tabela de Equivalência** fornecida neste site ou o Apêndice J do SiBCS. Artigos originados de autores estrangeiros, em que os solos foram inteiramente analisados e classificados em um dos sistemas internacionais (Soil Taxonomy ou WRB) não precisarão informar a classificação no SiBCS. Métodos já consagrados podem ser citados com base em uma referência, destacando alterações somente se forem relevantes. Citar os nomes de reagentes, assim como nomes, modelos e marcas de equipamentos somente se forem indispensáveis para a repetição da pesquisa. Informar de forma clara o delineamento experimental e o procedimento estatístico empregado na análise dos resultados. Indicar o software utilizado na análise estatística apenas se for relevante.

Resultados: Os resultados devem ser apresentados de forma objetiva e concisa, utilizando tabelas, ou, preferencialmente quando possível, figuras contendo gráficos, imagens ou modelos esquemáticos. É recomendado não utilizar mais de quatro tabelas e quatro figuras.

No relato dos resultados evitar a transcrição para o texto dos valores numéricos já apresentados nas tabelas e figuras. Citações das tabelas e figuras podem ser apresentadas no fluxo do texto, como por exemplo, tabela 1 ou figura 1, ou em destaque entre parêntese (Tabela 1 ou Figura 1).

Discussão: Deve ser desenvolvida com base nos resultados relevantes, sem repetir a apresentação dos resultados. A discussão deve apresentar argumentos que evidenciem a aceitação ou a rejeição da(s) hipótese(s) do trabalho. Ela deve dar sustentação para as conclusões. Resultados já publicados podem ser citados para dar suporte aos argumentos, sem, contudo, fazer discussão sobre eles. Evitar citações excessivas, como aquelas que dão suporte a conceitos básicos e de conhecimento já consagrado.

Conclusões: As conclusões devem ser coerentes com a(s) hipótese(s) e objetivo(s) e não devem ser repetição dos resultados. Não devem ser numeradas nem apresentadas na forma de itens. Devem ser apresentadas como um curto texto de forma clara sem argumentos e justificativas e suficiente por si, isto é, sem a necessidade de recorrer aos resultados e à discussão.

Referências bibliográficas: Toda citação utilizada ao longo do texto deve ser incluída na lista de referências. Não é recomendado inserir comunicação pessoal na lista de referência. As referências devem ser sequenciadas prioritariamente em ordem alfabética e secundariamente em ordem decrescente da data da publicação. As referências devem ser apresentadas na língua original da publicação. Na submissão não será exigido uniformização do estilo das referências. No entanto, a padronização será exigida, obrigatoriamente, para os manuscritos aceitos, assim, sugere-se que já na submissão adote-se o estilo recomendado. Adota-se o estilo de Vancouver adaptado, conforme exemplos:

Citação no texto

As citações podem ser diretas como por exemplo, Ferguson (2016) ou destacadas entre parênteses (Roberts, 2015).

Manuscritos com dois autores devem ser citados como: Autor 1 and Autor 2 (Ano) ou (Autor 1 and Autor 2, Ano). Exemplo: Silva and Smith (1975) ou (Silva and Smith, 1975).

Para manuscritos com mais de dois autores, deve-se utilizar o último nome do primeiro autor, seguido pela expressão latina abreviada “et al.” E ano de publicação. Exemplo:

Roberts et al. (2015) ou (Roberts et al., 2015).

Várias citações agrupadas entre parêntese devem ser sequenciadas em ordem cronológica e, quando o ano se repete, prevalece a ordem alfabética). Exemplos: (Tanaka and Yano, 2005; Jackson et al., 2008).

Manuscrtos cujos autores e o ano de publicação são os mesmos, devem ser identificados por letras ‘a’, ‘b’, ‘c’, etc., alocadas após o ano de publicação. Exemplos: Silva (1975a,b) ou (Silva, 1975a,b).

Comunicação pessoal deve ser citada somente se for imprescindível, indicando-se o nome do informante e a data entre parêntese. A comunicação deve ser vinculada a uma nota de rodapé numerada, onde se inclui o nome do informante, a data que a informação ocorreu, estado e país da Instituição de vínculo do informante e não deve constar da lista de Referências

Referenciando periódicos

Autor AA, Autor BB. Título do artigo. Título abreviado do periódico. Ano de publicação; volume: páginas inicial e final. DOI.

A abreviatura dos periódicos pode ser verificada

em: <https://www.library.caltech.edu/journal-title-abbreviations>. Exemplos:

Camargo LA, Marques Júnior J, Pereira GT. Spatial variability of physical properties of an Alfisol under different hillslope curvatures. Rev Bras Cienc Solo. 2010;34:617-30.

<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000300003>

Brown DJ, Shepherd KD, Walsh MG, Mays MD, Reinsch TG. Global soil characterization with VNIR diffuse reflectance spectroscopy. Geoderma. 2006;132:273-90.

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.04.025>

Livro

Author AA, Author BB. Título da publicação. Número da edição (se for a primeira edição, não precisa informar). Local da publicação: Editora; ano de publicação. Exemplos:

Klug HP, Alexander LE. X-ray diffracton procedures for polycrystalline and amorphous materials. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons; 1974.

Ab’Sáber A. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. 7. ed. São Paulo: Ateliê Editorial; 2012.

Capítulo de livro

Autor AA, Autor BB. Título da parte referenciada seguida de In: Editor AA, Editor BB,

editores. Título da publicação. Número da edição. Local de publicação: Editora; ano.

Páginas inicial e final. Exemplos:

Jackson ML. Chemical composition of soil. In: Bear FE, editor. Chemistry of the soil. 2nd ed. New York: Reinhold; 1964. p. 71-141.

Sharpley AN, Rekolainen S. Phosphorus in agriculture and its environmental implications. In: Tunney H, Carton OT, Brookes PC, Johnston AE, editors. Phosphorus loss from soil to water. New York: CAB International; 1997. p. 1-53.

Anais de Congresso

Autor AA, Autor BB. Título do trabalho. In: Tipo de publicação, número e título do evento [CD-ROM, quando publicado em]; data do evento (dia mês ano); cidade e país de realização do evento. Cidade (da Editora): Editora ou Instituição responsável pela publicação; ano de edição (nem sempre é o mesmo do evento). Paginação do trabalho ou do resumo. Exemplos: Bailey TB, Swan JB, Higgs RL, Paulson WH. Long-term tillage effects on continuous corn yields. In: 8th Annual conference proceedings – Annual conference on applied statistics in agriculture; 1996 Apr 28-30; Manhattan, Kansas. Manhattan: Kansas State University Libraries; 1996. p. 17-32.

Fonte digital

Autor AA, Autor BB (usar nome de organizações/institutos quando não houver autor ou editor explícito). Título do material referenciado. Local de publicação (se houver): Editora (se houver); Ano [cited ano mês dia]. Available from: URL. Exemplos:

Institute for Reference Materials and Measurements – IRMM. Certified reference material BCR – 142R; 2007 [cited 2016 Jan 18]. Available from: http://www.lgcstandards.com/medias/sys_master/pdfs/pdfs/ha6/hc4/9208111169566/BCR-142R-ST-WB-CERT-1515931-1-1-1.pdf.

Dissertações e teses

Autor AA. Título da tese incluindo subtítulo se houver [grau acadêmico]. Cidade: Instituição onde foi defendida; ano. Exemplo:

Brienza S Jr. Biomass dynamics of fallow vegetation enriched with leguminous trees in the Eastern Amazon of Brazil [thesis]. Göttingen: University of Göttingen; 1999.

Tabelas: As tabelas não devem ser inseridas no texto do documento principal. Elas devem

ser numeradas sequencialmente com algarismos arábicos. O título deve aparecer acima da tabela e devem conter as informações que possibilitem a sua leitura e compreensão sem recorrer ao texto. Informações complementares para compreensão da tabela (tais como as metodologias empregadas na determinação das propriedades apresentadas no corpo tabela) devem ser apresentadas como notas logo abaixo da tabela, devidamente numeradas com números sobrescritos e entre parênteses. Linhas horizontais são utilizadas apenas no topo da tabela para destacar as variáveis e para finalizar a tabela. No interior da tabela não devem conter linhas verticais e horizontais. As unidades referentes aos resultados devem aparecer no interior da tabela acima da primeira linha de resultados. As tabelas devem ser produzidas com ferramenta específica dos softwares editores de texto, preferencial, o MS Word ou MS Excel. Não inserir tabelas no formato de imagem. Evitar tabelas compostas por apenas uma linha de resultados ou uma coluna de variáveis. As tabelas devem ser ajustadas ao formato retrato. Asteriscos ou letras indicando significância e diferença estatística, respectivamente, devem ser alocados na mesma célula que os valores. Não insira linhas e colunas vazias na tabela. Nos manuscritos aceitos poderá ser solicitado ajustes e adequações nas tabelas.

Figuras: Figuras são elementos que podem conter gráficos em planos cartesianos ou tridimensionais, imagens ou modelos esquemáticos. As figuras não devem ser inseridas no texto do documento principal. Elas devem ser numeradas sequencialmente com algarismos arábicos. O título deve aparecer abaixo da figura e deve conter as informações que possibilitem a sua leitura e compreensão sem recorrer ao texto. Informações complementares para compreensão das figuras devem ser apresentadas como notas logo abaixo da figura. Em figuras com mais de um gráfico, eles devem ser identificados no canto superior esquerdo com as letras (a), (b), (c), etc. e devem ser devidamente identificados no título da figura. Recomenda-se não utilizar figuras com mais de quatro gráficos. As figuras devem ter formato retrato. Na submissão serão aceitas figuras nos formatos EPS, TIFF e PDF (JPG e GIF são aceitáveis). Após aprovação do manuscrito será requerido o envio das figuras em formato editável, ou seja, salva como projeto dentro dos programas que as geraram. Não serão aceitas figuras gráficas inseridas como imagem. Fotografias devem estar no formato *tagged image* (TIF) com 500 dpi. O estilo nas figuras deve acompanhar o padrão adotado ao longo do texto (mesma fonte, unidades, etc). Nos manuscritos aceitos poderá ser solicitado ajustes e adequações nas figuras.

Fórmulas e equações: Devem ser inseridas como texto editável, não como imagens.

Fórmulas e equações devem ser criadas por ferramentas de edição de equações disponíveis em softwares de edição de texto (Word, por exemplo) ou outra ferramenta que permita editá-las. Ao longo do texto, as equações devem ser citadas como equation 1 ou destacadas entre parênteses (Equation 1). Devem ser numeradas sequencialmente no canto direito como Eq. 1, Eq. 2, Eq.3, etc.

Material Complementar: Com a opção de material complementar é possível produzir artigos mais concisos focados nas informações mais relevantes. Materiais complementares são tabelas, figuras, modelos, fotografias, planilhas de dados, esquemas de processos ou equipamentos, que contribuam para dar maior suporte ao artigo. Todo material suplementar deve conter um título sucinto com os esclarecimentos necessários para a sua compreensão. O material suplementar não deve receber citações no texto do artigo. A existência de material suplementar ao artigo será indicada após as referências, com link de acesso. O material suplementar não será diagramado e será publicado na forma apresentada pelo autor. Sugere-se que as tabelas e figuras atendam os padrões de composição e formatação indicadas anteriormente. Se o manuscrito tiver material suplementar, adicione uma seção chamada “Supplementary data” após as conclusões. Esta seção deve conter as seguintes informações: “Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/XXX>”.

PROCESSO DE REVISÃO

A RBCS adota o sistema de revisão por pares duplo cego, o que significa que a identidade dos autores e revisores é mantida em sigilo. Após concluídas as correções requeridas por editores e revisores, os autores devem submeter a versão do artigo revisada.

Para tanto, os autores deverão acessar a central do autor no ScholarOne e clicar em Criar Revisão. Nessa fase é obrigatório produzir um texto com respostas gerais e específicas a todas as questões e sugestões feitas pelo revisores e editores, indicando em qual linha as alterações foram realizadas; este texto deve ser, obrigatoriamente, incluído na caixa de texto chamada “your response”. Nas etapas seguintes, será requerido que o autor insira a versão corrigida do manuscrito (main document), que deve conter todas as correções destacadas com ferramentas disponíveis no software de edição de texto (ex: negrito, cor diferente, etc).

APÓS ACEITAÇÃO

Após aceito, a tramitação do manuscrito será por meio do e-email: autores@sbc.org.br.

Procedimentos: Caso necessário, será solicitado ao autor correspondente adequar a

formatação das referências às normas da Revista. Também, se necessário serão solicitados ajustes de formatação em tabelas e figuras. Para os manuscritos aceitos poderá ser exigido a revisão do texto por um dos especialistas indicados neste guia de orientação.

Graphical abstract: É um item obrigatório e deve ser encaminhado após o aceite do manuscrito. Deverá ser enviado pelo autor correspondente um gráfico, imagem, esquema ou modelo que sumariza o conteúdo ou aspecto relevante do artigo. O *graphical abstract* deve ser submetido em formato editável, ou seja, como projeto salvo dentro do programa que o gerou. O *graphical abstract* será publicado apenas no site da Revista.

TAXAS DE PUBLICAÇÃO

As despesas de publicação – incluindo aquelas com o gerenciamento do processo de revisão, produção/editoração e disponibilização online do manuscrito – são arcadas mediante pagamento de taxas de publicação.

Os valores praticados pela RBCS são: R\$ 80,00 por página diagramada quando o primeiro autor e autor correspondentes são brasileiros e sócios da SBCS e R\$ 200,00 por página diagramada quando o primeiro autor e autor correspondente são brasileiros não sócios; para autores estrangeiros, esses valores são \$ 70.00 e \$100.00 quando o primeiro autor e autor correspondente são sócios e não sócios da SBSC, respectivamente.

INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES: Orientações gerais para o aprimoramento do manuscrito são apresentados a seguir. Alguns não serão exigidos para o manuscrito submetido, mas poderão ser exigidos no ajuste do manuscrito aceito.

A RBCS utiliza o Sistema Internacional de Unidades (SI).

Alguns exemplos de como os dados devem ser apresentados.