

CONSIDERAÇÕES SOBRE NUTRIÇÃO MINERAL E O CASO DO FEIJÃO VIGNA

EGÍDIO BEZERRA NETO¹
LEVY PAES BARRETO¹
JOSÉ BENJAMIN MACHADO COELHO¹

¹Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, PE.

Autor para correspondência: egidiobn@yahoo.com.br

Resumo: A nutrição mineral de plantas tem como objetivo estudar quais são os elementos químicos essenciais para o ciclo vital das plantas, como são absorvidos, translocados, as funções que desempenham, as exigências nutricionais e os distúrbios causados quando em concentrações insuficientes ou excessivas. Apresenta estreita relação com a agronomia, em especial com a fertilidade do solo e a adubação das culturas. Os nutrientes essenciais são: C, H e O (organógenos), N, P, K, Ca, Mg e S (macronutrientes) e Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, Cl, B e Ni (micronutrientes). Os teores dos macronutrientes (g kg⁻¹) considerados adequados para o bom desenvolvimento do feijão-vigna são: 18 a 22 (N), 1,2 a 1,5 (P), 30 a 35 (K), 50 a 55 (Ca), 5 a 8 (Mg) e 1,5 a 2,0 (S). E dos micronutrientes (mg kg⁻¹) são: 700 a 900 (Fe), 400 a 425 (Mn), 150 a 200 (B), 40 a 50 (Zn) e 5 a 7 (Cu).

Termos para indexação: feijão-de-corda, elementos essenciais, macronutrientes, micronutrientes.

CONSIDERATION ON THE MINERAL PLANT NUTRITION AND THE CASE OF COWPEA

Abstract: The plant mineral nutrition aims to study which nutrients are essentials for the life cycle of plants, how they are absorbed, translocated, the functions they perform, the nutritional requirements and disturbances caused when they are insufficient or in excessive concentrations. Plant mineral nutrition presents close relationship with Agronomy, especially with the soil fertility and crop fertilization. The essential nutrients are C, H and O (organogens), N, P, K, Ca, Mg and S (macronutrients) and Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, Cl, B and Ni (micronutrients). The levels of macronutrients (g kg⁻¹) considered adequate for the good development of cowpea are: 18 to 22 (N), 1.2-1.5 (P), 30-35 (K), 50-55 (Ca), 5-8 (Mg) and 1.5-2.0 (S). And micronutrients (mg kg⁻¹) are: 700-900 (Fe), 400-425 (Mn), 150-200 (B), 40-50 (Zn) and 5-7 (Cu).

Index terms: cowpea, essential elements, macronutrients, micronutrients.

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A nutrição mineral de plantas é o ramo da Fisiologia Vegetal que estuda quais são os elementos químicos essenciais para o ciclo vital das plantas. Estuda também como os elementos são absorvidos e translocados, as funções que desempenham nos sistemas funcionais, as exigências nutricionais e os distúrbios causados quando em concentrações insuficientes ou excessivas. Apresenta estreita relação com a agronomia, em especial com a fertilidade do solo e a adubação das culturas (EPSTEIN; BLOOM, 2006; PRADO, 2008).

O benefício da adição de elementos minerais no crescimento das plantas foi reconhecido há mais de 2000 anos. Contudo, Just von Liebig (1803-1873) foi o principal cientista de seu tempo a lançar as bases da nutrição mineral de plantas. Sua descoberta de que os elementos N, S, P, K, Ca, Mg, Si, Na e Fe eram essenciais, embora fundamentada apenas em observações, provou estar correta (MARSCHNER, 2012). Apenas o Si e o Na não são considerados essenciais para todos os vegetais superiores, embora o possam ser para algumas espécies vegetais. As pesquisas desenvolvidas no século XIX mostraram que as plantas tinham capacidade limitada de distinguir e ou selecionar, dentre os minerais disponíveis na solução do solo, aqueles que pouco representavam para o seu metabolismo ou que eram até menos tóxicos.

2. COMPOSIÇÃO MINERAL DAS PLANTAS

A nutrição e o crescimento vegetal são interdependentes. As exigências nutricionais das plantas variam desde a germinação à senescência. Consequentemente, o estado nutricional de uma planta condiciona sua taxa de desenvolvimento, seu crescimento e até mesmo suas características morfológicas e fisiológicas (MALAVOLTA, 2006). Segundo Cavalcanti et al. (2008), o procedimento de amostragem para diagnose foliar em feijoeiro consiste em utilizar o limbo foliar da segunda folha a partir do ápice, durante o período de florescimento. Em geral se coleta uma folha por planta e amostras de 50 folhas.

3. ELEMENTOS ESSENCIAIS

O progresso da química analítica, especialmente no desenvolvimento de

técnicas de purificação de sais e determinação analítica de elementos minerais, em quantidades traços, associado ao desenvolvimento de técnicas de cultivo de planta em solução nutritiva, permitiram a Arnon and Stout citados por Epstein e Bloom (2006) o estabelecimento dos critérios de essencialidade (BONATO et al., 1998). Arnon and Stout concluíram que, para um elemento ser considerado essencial deveria satisfazer três requisitos básicos: 1) a planta não pode ser capaz de completar o ciclo “vital” na ausência do elemento mineral; 2) a função de certo elemento mineral não pode ser substituída por outro elemento mineral; e 3) o elemento tem que estar diretamente envolvido com o metabolismo da planta ou ser requerido numa determinada etapa metabólica. Mais recentemente, Epstein e Bloom (2006) vêm utilizando o critério de que sob deficiência severa do elemento essencial a planta exhibe anormalidades em seu crescimento, desenvolvimento ou reprodução.

Segundo Malavolta (2006) todos os elementos essenciais devem estar presentes nas plantas, porém nem todos os elementos presentes são essenciais. Atualmente sabe-se que as plantas necessitam, além do carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O), mais quatorze elementos que são absorvidos na forma de íons da solução do solo. Seis destes são requeridos em maiores quantidades e chamados macronutrientes, representados por: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), enxofre (S) e magnésio (Mg). Os oito outros elementos, requeridos em baixas concentrações, são chamados micronutrientes: ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn), boro (B), molibdênio (Mo), cloro (Cl) e níquel (Ni). A maior exigência das plantas pelos macronutrientes é devido ao fato de serem constituintes de compostos orgânicos, a exemplo das proteínas e ácidos nucleicos, ou atuarem como osmorregulador. Por outro lado, a maioria dos micronutrientes é predominantemente constituída de enzimas e, portanto, exigida em pequenas quantidades. Conforme Marschner (2012), o contínuo desenvolvimento e refinamento das técnicas analíticas, em especial na purificação dos compostos químicos, pode levar a descoberta de novos micronutrientes.

Para se demonstrar a essencialidade do níquel, inicialmente, descobriu-se que era parte da enzima urease, a qual transforma ureia em amônia. Posteriormente, foi preciso provar que as plantas não completavam o ciclo na ausência deste nutriente. No entanto, o níquel é requerido em concentrações muito baixas, de forma que o conteúdo presente nas sementes já é suficiente

para que as novas plantas completem o ciclo produtivo (REIS et al., 2014).

Já os denominados elementos “benéficos” são aqueles que: a) compensam ou eliminam os efeitos tóxicos de outros; b) substituem um elemento essencial em alguma de suas funções menos específicas; e c) são essenciais apenas para algumas espécies, a exemplo do sódio (Na), silício (Si) e cobalto (Co) (BONATO et al., 1998).

Os vegetais são seres autótrofos que dependem diretamente da fotossíntese e de um fluxo contínuo de sais minerais para o crescimento e desenvolvimento. Segundo Bonato et al. (1998), embora alguns minerais sejam requeridos em pequenas quantidades, são indispensáveis para o desempenho das principais funções metabólicas das células. As exigências minerais referem-se às quantidades de macro e micronutrientes que uma determinada espécie retira do solo ou de outro tipo de substrato, de fertilizantes ou do ar atmosférico (MALAVOLTA, 2006).

As plantas diferem bastante com relação à quantidade exigida de cada um dos nutrientes. Conforme Cavalcanti et al. (2008), para a cultura do feijoeiro vigna, os teores adequados de macronutrientes (g kg^{-1}) nas folhas são: 18 a 22 (N), 1,2 a 1,5 (P), 30 a 35 (K), 50 a 55 (Ca), 5 a 8 (Mg) e 1,5 a 2,0 (S); e de micronutrientes são: 700 a 900 (Fe), 400 a 425 (Mn), 150 a 200 (B), 40 a 50 (Zn) e 5 a 7 (Cu).

4. MOVIMENTO DOS ÍONS DO SOLO ATÉ AS RAÍZES

Os íons que estão na solução do solo, para serem absorvidos, devem, obrigatoriamente, entrar em contato com o sistema radicular da planta. Este contato pode ser estabelecido por: interceptação radicular, fluxo de massa e difusão. A interceptação radicular ocorre quando a planta tem participação ativa, ou seja, as raízes se desenvolvem, penetrando nos poros do solo, realizando o contato com os nutrientes. Já o fluxo de massa ocorre em decorrência do processo de transpiração da planta, pois, assim é criado um fluxo de água que vai da raiz até as folhas e atmosfera. Em decorrência do fluxo de água no sistema planta atmosfera e ao contato da raiz com o solo, dá-se a absorção da água e íons.

Os nutrientes absorvidos pelas raízes contribuem para que a região da rizosfera fique menos concentrada. A difusão ocorre justamente da área mais concentrada do solo para a menos concentrada. Portanto, cada elemento tem

sua velocidade de difusão (MALAVOLTA, 2006).

5. ABSORÇÃO DE NUTRIENTES

A absorção de nutrientes é realizada pelo vegetal para suprir as necessidades de seu metabolismo, que compreende os processos pelos quais esses nutrientes serão utilizados para seu crescimento e manutenção (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Para que ocorra a absorção de nutrientes pelas plantas a partir do solo, dois aspectos são fundamentais. O primeiro, que o elemento se encontre na solução do solo em forma que possa ser absorvido e segundo que esse nutriente, em solução, entre em contato com o sistema radicular da planta (CAVALCANTI et al., 2008). Para Horn et al., (2006) a absorção de nutrientes pelo sistema radicular da planta pode variar conforme sua morfologia e fisiologia e pode acontecer por meio de interceptação radicular, fluxo de massa ou difusão, além de serem absorvidos em diferentes taxas de acordo com a necessidade de cada vegetal.

A aquisição de nutrientes pelas plantas depende da disponibilidade dos nutrientes na solução do solo e da capacidade de absorção de tais nutriente pela planta. De acordo com Bonato et al. (1998) há vários fatores que influenciam a absorção de íons pela planta. Estes fatores podem ser tanto internos quanto externos. Os internos referem-se aos fatores intrínsecos a planta, enquanto que os externos são todos os fatores do meio (tanto bióticos quanto abióticos) que influenciam de forma direta ou indireta a absorção de íons. Segundo os referidos autores, tem-se como exemplos de fatores internos, a potencialidade genética, o estado iônico interno, o nível de carboidratos e a intensidade transpiratória. Já como exemplos de fatores externos tem-se, pH, aeração, temperatura, umidade e interação entre íons. O aumento do valor do pH do solo torna mais disponíveis certos nutrientes (Mo e Cl), enquanto outros como Al, Fe, Cu, Mn e Zn têm suas disponibilidades diminuídas. A influência do pH do meio e do fator genético pode ser ilustrada com os resultados da pesquisa realizada com feijão-vigna, por Silva et al. (2004), os quais verificaram que as cultivares Campeão 1, Carioca, FT-Bonito e Pérola tiveram aumento do sistema radicular e da parte aérea quando submetidas às doses de calcário (0, 1,59, 3,18 e 4,48 t ha⁻¹). Destas, a cultivar Pérola apresentou o sistema radicular mais tolerante à baixa saturação por bases.

6. FEIJÃO VIGNA

O feijão-vigna (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), também conhecido por, macassar ou feijão-de-corda, é uma leguminosa herbácea, cultivada principalmente por agricultores familiares, quer como cultura de subsistência ou comercial nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, gerando emprego e renda. Esta leguminosa é um dos principais componentes da dieta alimentar do nordestino, cujos grãos são de alto valor nutricional, devido ao elevado teor protéico (LIMA et al., 2007). Segundo Frota et al. (2008) a cultivar BRS-milênio possui atributos desejáveis, como alto conteúdo protéico, energético, de fibras alimentares e de minerais, tais como: ferro, zinco, potássio, fósforo e magnésio.

No Rio Grande do Sul, o feijão-vigna, conhecido por feijão-miúdo já foi considerado uma planta invasora nos cultivos da soja. Hoje, após uma série de pesquisas, é considerado forrageira para bovinos de leite e empregado na recuperação de áreas degradadas, em virtude de alta adaptabilidade a solos de baixa fertilidade. Como forrageira, é considerado de ótima palatabilidade e digestibilidade, além de produzir grande quantidade de biomassa e ser capaz de fixar até 1.100 kg de nitrogênio por hectare (VOSS; SILVA, 2005).

Castellón et al. (2003) avaliaram a composição bromatológica de sementes de seis cultivares comerciais de vigna: BR-14 Mulato, CE-315, Br-17 Gurguéia, BR-9 Longá, CNC-0434 e Vita 7) e obtiveram valores da ordem de 11 a 16 % de umidade, 22 a 25 % de proteína bruta, 1 a 2% de lipídeos totais, 71 a 75% de carboidratos e de 2 a 3% de resíduo mineral. A cultivar BR17 Gurguéia mostrou-se a mais promissora do ponto de vista nutricional. Em grãos de *Vigna radiata* L., encontrou-se 18-23% de proteína, 4,0-5,6% de fibra bruta e 2,5-4,1% de cinzas (DAHIYA et al., 2013).

Existem diferenças entre os genótipos de feijão-vigna no tocante à composição mineral das folhas e dos grãos. Belane and Dakora (2011a) avaliaram vinte e sete genótipos do feijão-vigna nodulado e verificaram que o genótipo IT82D-889 exibiu altas concentrações de P, K, Ca, Mg e S nos grãos, em relação aos genótipos Brown eye, IT845-2246 e TVx3236. As concentrações foliares de Cu, Mn, B e ferro foram maiores nos genótipos Apagbaala, IT845-2246, Fahari e IT97K-499-39, enquanto os teores de Fe, Cu, B e Zn foram menores em TVu111424, Brown eye, Vuli-1, Soronko e Glenda.

O feijão-vigna pode ser cultivado em quase todos os tipos de solo, apresentando destaque os Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho-Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Flúvicos. De um modo geral, o feijão-vigna se desenvolve bem em solos com adequado teor de matéria orgânica, leves e profundos, arejados e com fertilidade média a alta. Entretanto, em solos com baixa fertilidade natural, como os Neossolos Quartzarênicos, podem ser cultivados por meio de aplicações de fertilizantes químicos e/ou orgânicos (EMBRAPA, 2003).

Segundo a FAO (2012), estima-se que no ano de 2011 foram cultivados no mundo cerca de 12,52 milhões de hectares de feijoeiros vigna. A produção mundial no mesmo ano foi de 5 milhões de toneladas de grãos secos, com rendimento médio de 288 kg ha⁻¹, destacando-se a Nigéria, seguida por Niger e pelo Brasil, os quais respondem por 84,1% da área plantada e por 70,9% da produção mundial (SILVA, 2009). Croácia, Palestina, República da Macedônia, Trinidad e Tobago, Bósnia Herzegovina, Egito e Filipinas têm as maiores produtividades, acima de 2.500 kg ha⁻¹.

De acordo com Sampaio e Brasil (2009), no Brasil, historicamente, a produção de feijão-vigna concentra-se nas regiões Nordeste e Norte do país. No entanto, a cultura está se expandindo na região Centro-Oeste, em razão da produção de cultivares com características que favorecem o cultivo mecanizado. O feijão-vigna contribui com 35,6% da área plantada e 15% da produção total de feijão (feijão-vigna mais feijão *Phaseolus*) no país. A produtividade média do feijão-vigna, no Brasil, é baixa (366 kg ha⁻¹), devido ao baixo nível tecnológico empregado no cultivo. No entanto, estados como Amazonas, Goiás, Mato Grosso do Sul e Mato Grosso apresentam produtividades superiores a 1.000 kg ha⁻¹. Segundo Sampaio e Brasil (2009), o avanço da cultura na região central do Brasil propiciará um aumento na produtividade média brasileira, em função, do uso de tecnologias que favorecem a cultura expressar todo o potencial produtivo. No Estado do Pará, o feijão-vigna ocupa cerca de 70 mil hectares (FREIRE FILHO, 2011). No período de 1998 a 2007, a média anual da área colhida no país foi de 1.432.763 hectares e a média anual da produção foi de 472.636 toneladas.

Por ser uma espécie bem adaptada às condições semiáridas, o feijão-vigna consegue se desenvolver sob condições adversas de seca, salinidade, temperaturas elevadas e alta insolação (RIBEIRO, 2002). De acordo com

EMBRAPA (2003), o feijão-vigna se caracteriza por apresentar ciclo curto, baixa exigência hídrica e rusticidade. Desenvolve-se em solos de baixa fertilidade por meio da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, a qual tem a habilidade para fixar nitrogênio do ar. Em algumas áreas da Paraíba, níveis baixos de produtividade de feijão-vigna têm sido encontrados, em função de diversos fatores, tais como plantio de cultivares pouco produtivas, emprego de sementes de baixa qualidade, falta de adubação ou forma inadequada de fertilização pelos agricultores. A nutrição mineral adequada é o meio mais rápido e menos oneroso para aumentar a produtividade das culturas. Altos índices de produção, bem como ótima qualidade dos produtos somente são alcançados com o equilíbrio no fornecimento de macro e micronutrientes, que atuam no metabolismo vegetal (SANTOS et al., 2007).

7. MACRONUTRIENTES

Nitrogênio

O nitrogênio é um dos elementos essenciais para o desenvolvimento e produção das plantas e, segundo Castro (2007), é o elemento mineral requerido em maior quantidade pelos vegetais. É constituinte da clorofila, aminoácidos, proteínas, enzimas, coenzimas e nucleotídeos e representa de 2 a 6% da matéria seca das plantas. A maioria dos solos é deficiente nas formas absorvíveis de nitrogênio pelas plantas (nitrato e amônio). As principais fontes de nitrogênio para as plantas são a fixação industrial e a fixação pelas bactérias das leguminosas (MARSCHNER, 2012).

O nitrogênio é absorvido pelas plantas principalmente nas formas iônicas de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+). A forma de nitrogênio elementar (N_2), após a fixação biológica por bactérias simbiotes do solo, pode ser aproveitada pelas plantas para a nutrição (MALAVOLTA, 2006). A uréia é uma forma orgânica do nitrogênio, que também pode ser absorvida pelas plantas, e por isso é empregada como fertilizante.

Funções na planta

O nitrogênio, dentre os macronutrientes, é o que tem efeito mais rápido sobre o crescimento vegetal. Tem como função básica o crescimento das plantas, sendo responsável pela cor verde escura das folhas e, como promove o desenvolvimento do sistema radicular, melhora a absorção de outros

nutrientes do solo (MALAVOLTA, 2006).

O nitrogênio é componente da clorofila, aminoácidos, proteínas, nucleotídeos e outros compostos importantes no metabolismo das plantas. Sua ausência bloqueia a síntese de citocinina, hormônio responsável pelo crescimento das plantas, causando redução do tamanho e conseqüentemente redução da produção econômica das sementes. A escassez ou o excesso de nitrogênio pode causar estresse nutricional afetando o processo metabólico dos vegetais (MARSCHNER, 2012).

Mobilidade e sintomas de deficiência

O nitrogênio é um elemento móvel na planta e, por isto, os primeiros sintomas de deficiência ocorrem nas folhas mais velhas, em forma de clorose uniforme, amarelo-esverdeado, passando a amarelo-esbranquiçado, que se estende às folhas novas, com a intensificação dos sintomas (EMBRAPA, 2003). O número de folhas, a área foliar e o crescimento das plantas são reduzidos, dando lugar a um desfolhamento prematuro. Plantas deficientes em nitrogênio apresentam folhas pequenas, caules finos e pouca ramificação (MALAVOLTA, 2006).

Resultados de pesquisas

Diversas pesquisas têm sido feitas com o nitrogênio com o objetivo de avaliar o impacto desse nutriente nas plantas. O nitrogênio necessário ao feijão pode vir do solo, principalmente pela mineralização da matéria orgânica, dos fertilizantes nitrogenados e da fixação biológica do N_2 , por meio da associação de bactérias com as raízes dessas leguminosas (HUNGRIA et al., 1991).

As exigências de nitrogênio pelas plantas variam consideravelmente de acordo com os estádios de desenvolvimento, com máximo consumo verificado entre o início da floração e da formação dos grãos (ARNON, 1975, citado por OLIVEIRA et al., 2001). O feijão-vigna absorve, para seu pleno desenvolvimento, uma quantidade superior a 100 kg ha^{-1} de N (EMBRAPA, 2003). O teor nitrogênio nas folhas do feijão-vigna, adequado para o bom desenvolvimento varia de 18 a 22 g kg^{-1} (CAVALCANTI et al., 2008). Taffouo et al. (2014), encontraram teores foliares de N no feijão-vigna, variando de 30,51 a $35,01 \text{ g kg}^{-1}$ no estágio vegetativo e de 18,05 a $22,19 \text{ g kg}^{-1}$ no estágio de enchimento das vagens, indicando que as plantas jovens possuem maiores concentrações foliares desse macronutriente. Estes mesmo autores encontraram teores de N nas vagens do feijão-vigna variando entre

19,44 e 23,14 g kg⁻¹. Na Tabela 1 constam teores de nitrogênio considerados adequados por diversos autores, citados por Sampaio e Brasil (2009).

Tabela 1. Teores foliares adequados e deficientes de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio na matéria seca de folhas e matéria seca total do feijão vigna encontrados por diversos autores, citados por Sampaio & Brasil (2009).

FONTE	N	P	K	Ca	Mg
	g kg ⁻¹				
Dantas et al. (1979) ¹	19,7	1,4	32,0	53,8	6,6
Dantas et al. (1979) ²	12,8	0,2	6,4	17,9	1,4
Dantas et al. (1979) ³	40,5	3,4	12,4	20,0	3,1
Malavolta et al. (1997) ¹	18-22	1,2-1,5	30-35	50-55	5-8
Linhares (2007) ³	39-43	2,6-2,9	14,4-17,8	13,3-16,4	5,2-5,6
Fonseca (2008) ⁴	26,6-32,8	2,4-3,0	9,8-16-79	8,0-12,0	3,7-9,7
Parry et al. (2008) ⁵	16-24	1,2-1,7	27,9-32,5	13,5-18,5	3,6-4,0

¹Teores foliares adequados; ²teores foliares deficientes; ³teores foliares na floração; ⁴teores na matéria seca total da parte aérea na floração e ⁵teores na matéria seca total da parte aérea na maturação.

Diversos autores têm evidenciado a ação do nitrogênio na elevação do rendimento do feijoeiro. Segundo Vieira (1983) citado por Oliveira et al. (2003) o nitrogênio é um dos nutrientes que proporciona maior resposta ao feijoeiro. Em pesquisa visando avaliar o efeito de doses e formas de aplicação de nitrogênio sobre o rendimento de vagens e de grãos verdes e secos do feijão-vigna, cv. IPA 206, concluiu-se que o rendimento máximo estimado de vagens (11 t ha⁻¹), de grãos verdes (9,3 t ha⁻¹) e de grãos secos (3,6 t ha⁻¹) foram obtidos, respectivamente, com aplicação de 62, 61 e 56 kg ha⁻¹ de nitrogênio (OLIVEIRA et al., 2003). Quando o nitrogênio foi aplicado via foliar os rendimentos de vagens (10 t ha⁻¹), de grãos verdes (8,4 t ha⁻¹) e de grãos secos (3,4 t ha⁻¹) alcançaram valores máximos com doses de 64; 63 e 59 kg ha⁻¹ de N, respectivamente.

A exemplo de outras leguminosas, o feijão-vigna, possui a capacidade de, em simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, realizar a fixação biológica do N₂. A fixação biológica do nitrogênio (FBN) é reconhecidamente eficiente em feijão-vigna que, pode atingir altos níveis de produção e produtividade (RUMJANEK et al., 2009; BRITO et al., 2011).

A fixação biológica do nitrogênio em feijão-vigna, quando bem nodulado, pode dispensar outras fontes de nitrogênio e atingir alta produtividade

(RUMJANEK et al., 2009). Melo e Zilli (2009) confirmaram esses resultados após avaliação da fixação biológica de nitrogênio em cinco cultivares de feijão-vigna: BR 17 Gurguéia e Pretinho Precoce 1 apresentam maior e menor capacidade de nodulação, respectivamente. As cultivares avaliadas apresentam alta eficiência nodular em casa de vegetação com ambas as estirpes de *Bradyrhizobium*, BR 3267 e BR 3262. O suprimento de nitrogênio via fertilização mineral pode influenciar negativamente o processo de fixação biológica do nitrogênio em leguminosas, uma vez que as plantas podem absorver diretamente o nitrogênio presente no solo (OLIVEIRA et al., 2004; BRITO et al., 2011). Conforme afirmaram Xavier et al. (2006), a influência da inoculação e da adubação nitrogenada sobre a nodulação e produtividade do feijão-vigna, inoculado com *Bradyrhizobium* sp, estirpe BR2001, proporcionaram aumento da produtividade de grãos do feijão-vigna, sendo esta prática favorecida quando a adubação é de no máximo de 20 kg ha⁻¹ de N.

Segundo Rumjanek et al. (2009), as estimativas da FBN no campo são variáveis, correspondendo de 40 a 90% do total de N acumulado pela cultura. Esta variabilidade pode ser atribuída às diferenças entre genótipos tanto da planta como do rizóbio. Conforme Belane e Dakora (2011b), há uma interrelação entre os metabolismos do carbono e do nitrogênio em folhas fotossintéticas do feijão-vigna. Estes pesquisadores observaram que a quantificação do N simbiótico em folhas fotossintéticas indicou maior fixação de N₂ nos genótipos com maiores taxas fotossintéticas, transpiração foliar e melhor eficiência no uso de água. Por outro lado, as medidas de C nas folhas também indicaram maior acúmulo nos genótipos com maior produção de N simbiótico e N-total.

O feijão-vigna respondeu positivamente à aplicação de doses de biofertilizante à base de soro de queijo, aplicado via foliar. A dose de 120 mL L⁻¹ proporcionou melhores resultados para a variável número de folhas, enquanto que a dose de 260 mL L⁻¹ proporcionou melhores resultados para o número de vagens e peso das sementes (ALVES et al., 2009). A resposta do feijão-vigna, cultivar IPA 206, à adubação mineral nitrogenada apresentou rendimento máximo de sementes (3,55 t ha⁻¹), com a dose de 56 kg ha⁻¹ de nitrogênio (OLIVEIRA et al., 2001).

Fósforo

O fósforo, depois do nitrogênio, é o elemento que tem mais limitado o crescimento dos vegetais, notadamente devido ao suprimento insuficiente e a elevada capacidade de fixação no solo (ARAÚJO et al., 2012).

Fonte

A fonte natural de fósforo no solo é a matéria orgânica, ou outro resíduo orgânico que possa ser adicionado ao solo, a exemplo de esterco e restos de culturas. A farinha de ossos, com cerca de 30% de P_2O_5 , foi a primeira fonte de fósforo utilizada no passado (MALAVOLTA, 2006). Os principais fertilizantes minerais aplicados nas lavouras são os superfosfatos (simples e triplo), fosfato monoamônico, fosfato diamônico, nitrofosfato etc.

Absorção

O fósforo é absorvido pelas plantas principalmente sob a forma de $H_2PO_4^-$ que se origina da solubilização de minerais fosfatados e da mineralização da matéria orgânica, sendo a absorção de fósforo influenciada pela concentração de magnésio no meio (MALAVOLTA, 2006).

Faixa

O nível adequado do fósforo no solo, para o bom desenvolvimento do feijoeiro, está em torno de 10 mg kg^{-1} . Entre os macronutrientes, o fósforo é o elemento extraído em menor quantidade e o que mais limita a produção do feijão-vigna. Considerando as condições do solo e as propriedades do elemento no meio, as doses recomendadas encontram-se na faixa de 20 a 60 $\text{kg de } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$ (EMBRAPA, 2003).

O feijão-vigna adubado com N e K manteve o teor de fósforo elevado nas folhas, em torno de $3,2 \text{ g kg}^{-1}$, até o início da granação, reduzindo para $1,8 \text{ g kg}^{-1}$ na maturação (SAMPAIO; BRASIL, 2009). Estes mesmos autores citaram de diversos autores, os teores de fósforo considerados adequados para a cultura do feijão-vigna (Tabela 1). Taffouo et al. (2014), observaram teores foliares de P em feijão-vigna que oscilaram entre $0,87$ e $0,93 \text{ g kg}^{-1}$ no estágio vegetativo, e entre $0,65$ e $0,83 \text{ g kg}^{-1}$ no estágio de enchimento das vagens. Estes mesmo autores encontraram teores de P nas vagens do vigna variando entre $0,87$ e $1,37 \text{ g kg}^{-1}$.

Funções na planta

O fósforo coordena a respiração, a divisão celular, a formação das proteínas e do amido. É componente dos nucleotídeos, como o ATP (trifosfato de

adenosina) que representa a principal fonte energética da planta. Essa energia é utilizada no transporte de assimilados, no armazenamento e transferência de energia, na divisão celular, no aumento das células e na transferência de informações genéticas (MARSCHNER, 2012).

Mobilidade e sintomas de deficiência

O fósforo é um elemento móvel na planta, cujos sintomas de deficiência surgem nas folhas velhas, sob forma de manchas cloróticas irregulares, de coloração verde-limão (EMBRAPA, 2003). As folhas mais novas apresentam cor verde-azulada brilhante. Com a acentuação dos sintomas, a cor das folhas mais velhas progride para amarelo-castanha, das bordas para o centro do limbo. As folhas caem prematuramente. Em campo verifica-se retardamento no ponto de colheita e vagens mal formadas, com reduzido número de grãos. Segundo Malavolta (2006) a deficiência de fósforo pode produzir folhas amareladas como resultado da proteólise. Pode produzir também ângulo agudo entre caules e folhas, dormência de gemas laterais, redução do perfilhamento, senescência precoce e folhas menores podem ocorrer, devido ao menor número de células.

Resultados de pesquisa

Diversas pesquisas têm investigado o efeito do fósforo no feijão-vigna. A adubação fosfatada e as formas de aplicação de fertilizantes fosfatados são fatores importantes no manejo das culturas. Silva et al. (2010b) realizaram pesquisa com a finalidade de avaliar o efeito de cinco doses e duas fontes de P solúvel em Neossolo Quartzarênico sobre a nodulação, o crescimento e o teor de clorofila nas folhas do feijão-vigna. Os resultados obtidos permitiram concluir que o superfosfato simples apresenta maior eficiência relativa que o superfosfato triplo no aumento da nodulação e na fixação biológica do N. Independentemente das fontes de P solúveis, doses de P_2O_5 entre 60 e 80 $kg\ ha^{-1}$, em solos arenosos, proporcionam maior crescimento desta cultura (SILVA et al., 2010a).

O efeito de doses de fósforo e formas de aplicação de fertilizante fosfatado sobre os componentes de produção e absorção de fósforo pelo feijão-vigna foram testados em um solo de cerrado do Estado de Roraima. Os resultados permitiram concluir que a dose de 90 $kg\ ha^{-1}$ de P_2O_5 proporcionou maior produtividade de grãos e aumentou a concentração de fósforo nas folhas quando aplicada em sulco duplo (SILVA et al., 2010b).

Estudo realizado em Moçambique avaliou a hipótese de que altos níveis de fósforo melhoram a tolerância do feijão-vigna ao estresse hídrico. Os resultados obtidos mostraram que a adubação fosfatada influenciou fortemente a produção e o número de vagens por planta, nas condições com ou sem irrigação. No entanto, o efeito da adubação de fósforo foi maior sob irrigação (UARROTA, 2010).

Em outro experimento, avaliou-se a tolerância de genótipos de feijão-vigna, oriundos de Cuba, quanto à escassez de fósforo no solo. Os resultados mostraram que os mecanismos fisiológicos empregados para compensar a deficiência de P foram: elevada atividade nodular específica, eficiência do uso do P, incremento na produção de raízes e mudanças na distribuição do P extraído (GÓMEZ et al., 2002).

Chaudhary et al. (2008), observaram que o conteúdo foliar de P foi mais correlacionado à área foliar do que a taxa fotossintética por unidade de área foliar nas leguminosas *Vigna aconifolia*, *Vigna radiata* e soja. Os autores sugeriram que a seleção para elevar a eficiência na utilização de P e a área foliar pode ser usada para melhorar as culturas leguminosas.

O fósforo influenciou na absorção de vários elementos, de forma que, a adubação fosfatada aumenta a concentração da maioria dos nutrientes nas diferentes partes do feijão-vigna (PARRY et al., 2008).

Flyman e Afolayan (2008) estudaram o efeito da maturidade sobre os teores foliares de nutrientes em *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis*. Os autores verificaram que os teores de P foram 3,7; 5,1; 3,2; 2,9; 2,3; 2,9 e 1,9 g kg⁻¹, respectivamente, nas idades de 21; 28; 35; 44; 50; 57 e 64 dias.

Taffouo et al. (2014) avaliaram o efeito da aplicação de três doses de P solúvel (0,1-Baixo P; 0,5-Médio P e 1,0 mM-Alto P) e da inoculação com micorriza arbuscular sobre plantas do feijão-vigna. Os pesquisadores concluíram que as plantas supridas com baixa fertilidade fosfatada mostraram maior colonização das raízes do que as supridas com média ou alta fertilização. Além disso, a absorção de P e os parâmetros de crescimento do feijão-vigna foram influenciados positivamente pela inoculação micorrízica apenas na média fertilização fosfatada.

Potássio

O potássio é um macronutriente requerido em grandes quantidades para o

crescimento normal e desenvolvimento das plantas em geral (MALAVOLTA, 2006).

Fontes

A fonte mineral comercial de potássio mais usada é o cloreto de potássio (KCl) com 60% de K_2O . Há outras fontes como o sulfato de potássio (K_2SO_4) com 50% de K_2O , o sulfato de potássio e magnésio ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4$ com 18% de K_2O e o nitrato de potássio (KNO_3) com 46% de K_2O (MALAVOLTA, 2006).

Absorção

O potássio é encontrado no solo sob a forma iônica K^+ , sendo absorvido em grandes quantidades pelas plantas, não formando compostos. O potássio inibe competitivamente a absorção de NH_4^+ , Rb, Mg e Ca (MALAVOLTA, 2006).

Faixa

Embora apresente altas concentrações no tecido das plantas, a adubação potássica em feijão-vigna não tem se refletido no aumento da produção de grãos (EMBRAPA, 2003). Seu teor nas folhas, considerado adequado para o bom desenvolvimento das plantas, varia de 30 a 35 g kg^{-1} de matéria seca (CAVALCANTI et al., 2008). No período da granação, o teor de potássio nas folhas do feijão-vigna reduziu de 25 para 12 g kg^{-1} de matéria seca e manteve níveis de 10 g kg^{-1} até o final do ciclo da cultura (SAMPAIO; BRASIL, 2009).

Funções na planta

O potássio contribui para a manutenção do potencial osmótico e o balanço iônico, participando do processo de abertura e fechamento dos estômatos, regulando a transpiração e entrada de CO_2 , atuando também na fotossíntese, uma vez que participada síntese da enzima ribulose bifosfato carboxilase (EPSTEIN; BLOOM, 2006). O potássio é um nutriente que não faz parte de nenhum composto nas plantas, mas na forma iônica regula e participa de muitos processos essenciais tais como: fotossíntese, abertura e fechamento de estômatos, absorção de água do solo, atividades enzimáticas, síntese do amido e síntese protéica (MARSCHNER, 2012).

O potássio está envolvido no crescimento meristemático, uma vez que a ação dos fitohormônios de crescimento é influenciada positivamente por este nutriente (MARSCHNER, 2012). A assimilação do potássio é feita

basicamente num processo ativo, atingindo o máximo de absorção com a presença de Ca^{+2} no meio, embora o excesso tenha o efeito inibidor, como, por exemplo, a aplicação em excesso de calcário para a neutralização da acidez (MALAVOLTA et al., 1997). Estes autores citaram que, em algumas culturas, foi possível observar que a deficiência de potássio está intimamente ligada à deficiência de ferro.

Mobilidade e sintomas de deficiência

O potássio é um elemento bastante móvel na planta, acumulando-se especialmente nas partes novas. É o cátion mais abundante nos vacúolos e no citoplasma. A deficiência de potássio pode provocar no vegetal diminuição do crescimento, as folhas novas ficam mais finas e as velhas apresentam amarelecimento, progredindo, geralmente das bordas para o centro das folhas. A falta de firmeza nos frutos e a queda excessiva das folhas, também podem ser ocasionadas pela deficiência deste nutriente. O crescimento do caule, o número de folhas e a área foliar ficam reduzidos, e as flores caem precocemente (EMBRAPA, 2003).

Resultados de pesquisas

O excesso de potássio pode causar inibição na absorção de boro, zinco, manganês e amônio, induzindo, ou ao menos, contribuindo para deficiência destes elementos. Alta concentração de potássio tem ação antagonista sobre absorção de Ca^{+2} e Mg^{+2} (FAGERIA, 2001). Este autor afirmou ainda que a diminuição na absorção cálcio, devido ao excesso de potássio, deve-se à competição decorrente das funções fisiológicas destes cátions, enquanto a influência do excesso de potássio sobre a absorção do magnésio advém da competição por compostos ligantes no metabolismo do vegetal.

A diagnose nutricional do feijão-vigna indica que o teor de potássio nas folhas desta espécie, considerado adequado para o bom desenvolvimento, encontra-se entre 30 e 35 g kg^{-1} (CAVALCANTI et al., 2008). As exigências de potássio nesta cultura variam em função do estágio de desenvolvimento, isto é, produção de vagens, grãos verdes e grãos secos (OLIVEIRA et al., 2009). Segundo estes autores, as doses 210, 151 e 170 kg ha^{-1} de K_2O , respectivamente, foram responsáveis pelas produtividades máximas de 4,18 t ha^{-1} de vagens, 3,48 t ha^{-1} de grãos verdes e de 1,89 t ha^{-1} de grãos secos. A dose de máxima eficiência econômica para a produtividade de grãos secos foi de 141 kg ha^{-1} de K_2O , com produtividade de 1,87 t ha^{-1} .

Flyman e Afolayan (2008) observaram que os teores foliares de K em *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis* variavam com a idade da planta. Os valores encontrados foram da ordem de 30 g kg⁻¹ aos 21 dias de idade; 26 g kg⁻¹ aos 35 dias de idade; 20 g kg⁻¹ aos 50 dias de idade e 17 g kg⁻¹ aos 64 dias de idade. Em grãos de *Vigna radiata* o teor de potássio variou de 3,62-4,15 g kg⁻¹ de matéria seca (DAHIYA et al., 2013).

Cálcio

Fontes

As principais fontes de cálcio para as plantas são os calcários, utilizados como corretivos de acidez, tais como: calcário calcítico, calcário magnesiano, calcário dolomítico e cal extinta (MALAVOLTA, 2006).

Absorção

A forma iônica de cálcio (Ca²⁺) existente na solução do solo é absorvida pelas plantas por interceptação radicular e fluxo de massa. A absorção do cálcio é diminuída por altas concentrações de K⁺ e Mg²⁺ no meio (MALAVOLTA, 2006). A faixa de pH mais favorável à cultura do feijoeiro é de 5,5 a 6,7 (MALAVOLTA, 2006).

Faixa

A concentração de cálcio nas plantas apresenta amplitude de variação de 1 a mais de 50 g kg⁻¹, dependendo da espécie vegetal, órgão da planta e das condições de cultivo (MARSCHNER, 2012). Os teores adequados de cálcio nas folhas de feijão-vigna variam de 50 a 55 g kg⁻¹ (CAVALCANTI et al., 2008), embora, Fernandes (2006), tenha afirmado que os teores de cálcio nas folhas do feijão-vigna variam entre 4 e 40 g kg⁻¹. Na Tabela 1 constam teores de cálcio considerados adequados por diversos autores, citados por Sampaio e Brasil (2009).

Funções na planta

. Este macronutriente é muito importante no desenvolvimento das raízes, sendo um nutriente necessário na translocação e armazenamento de carboidratos e proteínas. O cálcio atua na estabilização da parede celular e das membranas da célula vegetal, bem como no balanço cátion-ânion, osmorregulação e como mensageiro secundário (MARSCHNER, 2012).

Mobilidade e sintomas de deficiência

O cálcio não se redistribui dentro da planta, sendo considerado um

elemento imóvel no floema. Ao contrário do que acontece com o K^+ , a maior proporção de cálcio na planta está em formas insolúveis em água (pectato e oxalato), adsorvido a proteínas (MALAVOLTA, 2006). Por ser um elemento imóvel no floema, os sintomas característicos da deficiência de cálcio se manifestam nas folhas mais novas. A deficiência de elementos minerais provoca desequilíbrios no metabolismo das plantas, fazendo-as apresentar sintomas característicos (TAIZ; ZEIGER, 2013). As plantas com sintomas de deficiência de cálcio apresentam as folhas superiores quebradiças, encurvadas e com reduzido crescimento do sistema radicular e do caule (EMBRAPA, 2003). A germinação do grão de pólen e o crescimento do tubo polínico são dificultados quando há falta de cálcio, além disto, pode haver a desintegração da estrutura das membranas e perda da compartimentalização celular (MALAVOLTA, 2006; MARSCHNER, 2012).

Resultados de pesquisas

Há anos passados o cálcio não recebia muita atenção e poucos trabalhos haviam sido desenvolvidos levando em conta suas funções como nutriente. Mais recentemente, o interesse dos fisiologistas vegetais e estudiosos da biologia molecular por esse nutriente tem aumentado, em virtude de suas funções como mensageiro secundário (MARSCHNER, 2012). A calagem é uma prática agrícola capaz de alterar várias características químicas e biológicas do solo. Pesquisa realizada com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes doses de nitrogênio (40 e 80 kg ha⁻¹) na forma de uréia e calcário (9, 18 e 27 t ha⁻¹) sobre a produção do feijão-vigna, concluiu que a adubação nitrogenada em cobertura e a calagem em diferentes doses, não afetaram as características agrônômicas nem a produtividade do feijão-vigna (ARAÚJO et al., 2006).

Flyman e Afolayan (2008) observaram que os teores foliares de Ca em *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis* variam com a idade da planta. Os valores encontrados foram da ordem de 3,7 g kg⁻¹ aos 21 dias de idade; 23,6 g kg⁻¹ aos 35 dias de idade; 14,2 g kg⁻¹ aos 50 dias de idade e 11,9 g kg⁻¹ aos 64 dias de idade. Em grãos de *Vigna radiata* o teor de cálcio variou de 0,79-1,15 g kg⁻¹ de matéria seca (DAHIYA et al., 2013).

Miranda et al. (2010) realizaram experimento visando caracterizar os sintomas causados pela deficiência de macro e micronutrientes, em condições de carência nutricional, em plântulas de feijão-vigna sob condições hidropônicas. Os autores concluíram que a matéria seca total foi reduzida em

todos os tratamentos com carência de nutriente, e que a ordem decrescente de redução foi a seguinte: Ca > N > Fe > P > K > Mg > S > B.

Magnésio

Absorção

O magnésio é absorvido pelos vegetais como íon bivalente positivo (Mg^{+2}).

Faixa

Nas partes vegetativas da maioria das culturas a necessidade de magnésio é da ordem de 1,5 a 3,5 g kg⁻¹ (MARSCHNER, 2012). Segundo Cavalcanti et al. (2008), o teor nas folhas de feijão-vigna, considerado adequado para o bom desenvolvimento das plantas, situa-se na faixa de 5 a 8 g kg⁻¹. Na Tabela 1 constam teores de magnésio considerados adequados por diversos autores, citados por Sampaio e Brasil (2009).

Funções na planta

O magnésio é componente da molécula da clorofila, a que dá cor verde às plantas, contribuindo com cerca de 2,7% do peso dessa importante biomolécula (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Além disto, este nutriente tem papel importante no metabolismo do fósforo e na atividade de muitas enzimas, em especial as que atuam na fotossíntese e na respiração das plantas (MARSCHNER, 2012).

Mobilidade e sintomas de deficiência

O magnésio é um elemento móvel na planta e os sintomas de deficiência se caracterizam por clorose internerval nas folhas mais velhas com os bordos do limbo desenvolvendo-se recurvados para baixo (MALAVOLTA, 2006). As plantas florescem, mas os botões florais caem prematuramente. A maior parte desse elemento encontra-se em forma iônica no vacúolo, contrapondo-se aos ácidos orgânicos e inorgânicos. Em quantidades menores, encontra-se na lamela média, na forma de pectatos.

A deficiência de magnésio pode ser corrigida pela aplicação de sulfato de magnésio, sulfato duplo de potássio e magnésio, fosmag e termofosfato magnesiano. Normalmente, a aplicação de calcário dolomítico oferece a quantidade suficiente de magnésio para atender às necessidades das culturas. Recomenda-se que os materiais corretivos apresentem relação cálcio-magnésio na proporção 4/1 (EMBRAPA, 2003).

Resultados de pesquisas

O macronutriente magnésio em feijão-vigna não tem recebido atenção adequada e, como tal, poucos trabalhos têm sido desenvolvidos levando em consideração suas funções como nutriente. Em pesquisa realizada com plantas de feijão-vigna, cultivadas em solução nutritiva com omissão de magnésio, os sinais de deficiência desse nutriente começaram a surgir a partir do quadragésimo dia de instalação do ensaio. O número total de folhas, a área das folhas mais novas, o volume das raízes e o crescimento do caule foram reduzidos. Embora as plantas tenham florescido, não houve formação de frutos em virtude da queda dos botões florais segundo Dantas et al., 1979d citados por Boaro et al., 1996.

Em pesquisa realizada com *Vigna unguiculata* subsp *sesquipedalis*, os teores foliares de Mg variaram com a idade das plantas, de forma que aos 21, 35, 50 e aos 64 dias de idade, os valores encontrados foram respectivamente, 3,8; 9,0; 5,9 e 5,3 g kg⁻¹ (FLYMAN; AFOLAYAN, 2008).

Enxofre

Fonte

O enxofre é encontrado no solo nas formas orgânica e inorgânica, sendo que a principal reserva de enxofre do solo está associada à matéria orgânica.

Absorção

O enxofre é absorvido pelas raízes sob a forma do íon sulfato-SO₄⁻² (MARSCHNER, 2012).

Faixa

As recomendações de enxofre variam de 10 a 30 kg ha⁻¹ de enxofre, podendo chegar a 50 kg ha⁻¹ em algumas culturas (MALAVOLTA, 2006). O feijão-vigna requer aproximadamente 10 kg ha⁻¹ de enxofre. Alguns fertilizantes, das fórmulas básicas de adubação, contém o enxofre em quantidade suficiente para atender as necessidades de várias culturas (EMBRAPA, 2003). A exigência de enxofre para o crescimento ótimo das plantas, de um modo geral, varia de 1 a 5 g kg⁻¹, da matéria seca (MARSCHNER, 2012). Para o feijão-vigna, o teor de enxofre nas folhas, considerado adequado para o bom desenvolvimento das plantas é de 1,5 a 2,0 g kg⁻¹ (CAVALCANTI et al., 2008).

Funções na planta

O enxofre é exigido pelo vegetal para formação de aminoácidos e

proteínas, para a fotossíntese e para resistência a baixas temperaturas. É importante também para nodulação e desenvolvimento radicular (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Mobilidade e Sintomas de deficiência

Diferentemente do que ocorre com nitrogênio e fósforo (macronutrientes aniônicos), o enxofre não se redistribui consideravelmente no floema, ocasionando aparecimento de sintomas de carências nas folhas mais novas (MALAVOLTA, 2006). Segundo Embrapa (2003), o enxofre é um elemento pouco móvel no feijão-vigna. Depois de incorporado a compostos orgânicos o enxofre se torna pouco móvel no floema, sendo os aminoácidos que o contém em forma muito estável. As plantas deficientes em enxofre apresentam crescimento aparentemente normal. Os sintomas característicos de deficiência se iniciam pelas folhas mais novas, na forma de manchas irregulares, verde-claras, distribuídas no limbo dos folíolos. Com o desenvolvimento das plantas as folhas tornam-se amarelas e os folíolos caem facilmente. Contudo, há produção de vagens (MALAVOLTA, 2006).

8. MICRONUTRIENTES

Os micronutrientes são exigidos em pequenas quantidades pela planta de feijão-vigna (EMBRAPA, 2003), por isto, normalmente, as reservas dos solos são capazes de atender às necessidades das plantas. Deficiências podem ocorrer em solos cujo material de origem é pobre em nutrientes ou que apresentam condições adversas à sua mobilização/absorção, tais como valores extremos de pH e excesso de matéria orgânica.

A quantidade e disponibilidade de micronutrientes para plantas dependem muito da mineralogia das rochas que dão origem aos solos, havendo íntima correlação entre teor de argila e conteúdo de micronutrientes (MALAVOLTA, 2006).

São raras as informações técnicas sobre necessidades de micronutrientes em solos onde é cultivado o feijão-vigna (EMBRAPA, 2003).

Ferro

O ferro pode ser fornecido à planta tanto na forma ferrosa (Fe^{+2}) como na forma férrica (Fe^{+3}), mas sob condições de pH alcalino, a solubilidade desse íon é muito baixa e insuficiente para atender às necessidades (MALAVOLTA,

2006). O ferro na forma oxidada, ao entrar em contato com o sistema radicular, é reduzido, de modo que, no geral, a forma mais absorvida é Fe^{+2} . É importante resaltar que as gramíneas dão preferência a Fe^{+3} (MARSCHNER, 2012). Quanto ao fornecimento na forma de quelados, acredita-se que a absorção do ferro seja precedida pela separação entre o quelante e o metal considerado (MALAVOLTA, 2006). Os sintomas de falta de ferro aparecem primeiramente nas folhas mais novas devido a sua baixa mobilidade no floema (MALAVOLTA, 2006). A deficiência de ferro é frequente em solos alcalinos, exceto se o ferro encontra-se na forma de complexos orgânicos (quelatos) que são absorvidos independente do pH. Sua deficiência produz folhas total ou parcialmente cloróticas. O teor de ferro nas folhas do feijão-vigna, considerado adequado ao bom desenvolvimento varia de 700 a 900 mg kg^{-1} (CAVALCANTI et al., 2008). No entanto, conforme Oliveira e Dantas citado por Melo et al. (2005) os valores de 817 e 337 mg kg^{-1} de ferro, são considerados respectivamente como adequado e deficiente para o feijão-vigna.

Em pesquisa realizada com *Vigna unguiculata* subsp *sesquipedalis*, os teores foliares de Fe variaram com a idade das plantas, de forma que aos 21, 35, 50 e aos 64 dias de idade, os valores encontrados foram respectivamente, 161, 300, 282 e 284 mg kg^{-1} (FLYMAN; AFOLAYAN, 2008). Em grãos de *Vigna radiata* o teor de ferro variou de 34 a 46 mg kg^{-1} de matéria seca (DAHIYA et al., 2013). Amostras de folhas de feijão-vigna coletadas no campus da Universidade Federal do Ceará (ACCIOLY, 1972) apresentaram 137 mg kg^{-1} de Fe.

Cobre

Conforme Malavolta (2006) o cobre é absorvido pelas plantas na forma de Cu^{+2} e altas concentrações de P, Zn e Mo diminuem a absorção desse nutriente. Segundo o referido autor, várias enzimas contendo cobre catalisam reações de óxido-redução cruciais para a fotossíntese e para a respiração. A deficiência do elemento pode produzir amarelamento das folhas, com extremidades esbranquiçadas.

O teor de cobre nas folhas do feijão-vigna, considerado adequado para o bom desenvolvimento das plantas varia de 5 a 7 mg kg^{-1} (CAVALCANTI et al., 2008). No entanto, conforme Oliveira e Dantas citado por Melo et al. (2005) os valores de 6 e 5 mg kg^{-1} de cobre, são considerados respectivamente como

adequado e deficiente para o feijão-vigna. Amostras de folhas de feijão-vigna coletadas no campus da Universidade Federal do Ceará (ACCIOLY, 1972) apresentaram 1 mg kg^{-1} de cobre.

Molibidênio

O molibidênio (Mo) é absorvido pelos vegetais predominantemente como MoO_4^{-2} (MALAVOLTA, 2006). A presença de H_2PO_4^- determina maiores absorção e transporte do íon molibidato (MALAVOLTA, 2006). Na planta, o Mo atua nos processos de oxidação-redução. Esse micronutriente exerce influência também na nodulação e na fixação simbiótica do nitrogênio pelas leguminosas (MARSCHNER, 2012).

A fixação biológica do nitrogênio é influenciada pela disponibilidade de nutrientes no solo que podem beneficiar ou prejudicar o processo. Dentre os nutrientes, que afetam a fixação biológica do nitrogênio, destaca-se o molibidênio (Mo), considerado elemento-chave do centro ativo da nitrogenase, enzima responsável pela fixação biológica do nitrogênio (MENGEL; KIRKBY, 2001). Neste contexto, a aplicação de micronutrientes tais como o molibidênio, pode ser importante para incrementar a fixação biológica do N_2 e a produtividade do feijão-vigna. Em experimento com feijão-vigna, em condições de campo, foi verificado que o acúmulo de N na parte aérea e a produtividade de grãos foram maiores nos tratamentos com aplicação de Mo (GUALTER et al., 2008). Os autores concluíram também que a inoculação das sementes associada à aplicação de Mo favoreceu nodulação das raízes. As deficiências de molibidênio ocorrem normalmente em solos ácidos e arenosos. Marschner (2012) mencionou que a absorção de Mo pelas plantas é fortemente influenciada pelo pH do solo, de forma que o teor deste micronutriente na parte aérea de soja foi $2,0 \text{ mg kg}^{-1}$ em solo com pH igual a 5,0, enquanto que em solo com pH 7,0, o teor de Mo foi $18,5 \text{ mg kg}^{-1}$. Este autor também destacou ampla faixa de concentração de Mo nas plantas (104 vezes), entre o nível crítico de deficiência ($0,1 \text{ mg kg}^{-1}$) e de toxidez (1.000 mg kg^{-1}). Amostras de folhas de feijão-vigna coletadas no *campus* da Universidade Federal do Ceará (ACCIOLY, 1972) apresentaram $2,2 \text{ mg kg}^{-1}$ de molibidênio. No entanto, conforme Oliveira e Dantas citados por Melo et al., (2005) os valores de $0,24$ e $0,20 \text{ mg kg}^{-1}$ de molibidênio, são considerados respectivamente como adequado e deficiente para o feijão-vigna.

Manganês

O manganês é absorvido pelos vegetais na forma catiônica de Mn^{2+} . Altas concentrações de cobre, zinco e potássio no meio causam diminuição na absorção do manganês, fenômeno esse denominado antagonismo. É bem conhecido o efeito inibitório do excesso de manganês na absorção do ferro (MALAVOLTA, 2006). Tanto o ferro como o manganês favorecem a formação de clorofila, embora não façam parte da sua composição. O manganês é essencial para respiração dos vegetais e para metabolismo do nitrogênio (MARSCHNER, 2012). Pode atuar efetivamente em algumas reações enzimáticas catalisadas por metais as que requerem magnésio. Clorose entre nervuras das folhas e nas margens indicam deficiência (MALAVOLTA, 2006). Segundo Cavalcanti et al., (2008) o teor adequado de manganês nas folhas do feijão-vigna varia de 400 a 425 mg Kg⁻¹. No entanto, conforme Oliveira e Dantas citados por Melo et al., (2005) os valores de 418 e 24 mg kg⁻¹ de manganês, são considerados, respectivamente, como adequado e deficiente para o feijão-vigna. Em pesquisa realizada com *Vigna unguiculata* subsp *sesquipedalis*, os teores foliares de Mn variaram com a idade das plantas, de forma que aos 21, 35, 50 e aos 64 dias de idade, os valores encontrados foram respectivamente, 132, 217, 214 e 249 g kg⁻¹ (FLYMAN; AFOLAYAN, 2008). Amostras de folhas de feijão-vigna coletadas no campus da Universidade Federal do Ceará (ACCIOLY, 1972) apresentaram 44 mg kg⁻¹ de Mn.

Zinco

O zinco é absorvido pelos vegetais como Zn^{2+} e sua absorção é diminuída pelo excesso de cobre e ferro (MALAVOLTA, 2006). Na planta atua como ativador enzimático. As deficiências de Zn podem ser corrigidas com a aplicação do zinco em fundação, na dose de 3 kg ha⁻¹ (EMBRAPA, 2003). O teor de zinco na folha diagnose, considerado adequado para o bom desenvolvimento do feijão-vigna encontra-se na faixa de 40 a 50 mg kg⁻¹ (CAVALCANTI et al., 2008). No entanto, conforme Oliveira e Dantas citados por Melo et al., (2005) os valores de 43 e 24 mg kg⁻¹ de zinco, são considerados respectivamente como adequado e deficiente para o feijão-vigna.

Em pesquisa realizada com *Vigna unguiculata* subsp *sesquipedalis*, os teores foliares de Zn variaram com a idade das plantas, de forma que aos 21, 35, 50 e aos 64 dias de idade, os valores encontrados foram respectivamente,

362, 71, 44 e 22 mg kg⁻¹ (FLYMAN; AFOLAYAN, 2008). Amostras de folhas de feijão-vigna coletadas no campus da Universidade Federal do Ceará (ACCIOLY, 1972) apresentaram 57 mg kg⁻¹ de zinco. Em grãos de *Vigna radiata* o teor de zinco variou de 120 a 230 mg kg⁻¹ de matéria seca (DAHIYA et al., 2013).

Boro

O boro (B) é absorvido como H₃BO₃ em pH menor que 7, ou como H₄BO₄⁻ em pH maior que 7. Igualmente ao cálcio é considerado um elemento imóvel no floema, característica esta que implica no aparecimento dos sintomas de deficiência, que se inicia nas folhas mais jovens (MALAVOLTA, 2006; EPSTEIN e BLOOM, 2006). Boro é reconhecidamente o micronutriente cuja deficiência é mais comum no Brasil nas diversas culturas. As diferentes funções do boro na vida da planta convergem para o seu efeito geral no processo da formação do produto a ser colhido. O boro nas plantas desempenha diversas funções fundamentais, dentre as quais se destacam a participação na biossíntese de constituintes da parede celular tais como as polioses e a lignina, na biossíntese da uracila, base nitrogenada essencial para síntese do RNA; na estabilidade da plasmalema e na translocação de carboidratos (MARSCHNER, 2012).

Segundo Cavalcanti et al. (2008) o teor de boro nas folhas do feijão-vigna varia de 150 a 200 mg kg⁻¹. No entanto, conforme Oliveira e Dantas citados por Melo et al. (2005) os valores de 202 e 44 mg kg⁻¹ de boro, são considerados, respectivamente, adequado e deficiente para feijão-vigna. Por outro lado, nas folhas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), os níveis críticos inferiores se situam entre 44,2 e 68,1 mg kg⁻¹ e os superiores entre 143,6 e 199,1 mg kg⁻¹ (MARIANO et al., 2000). Os teores de boro em folhas do feijão-vigna variam de 18,3 a 27,9 mg kg⁻¹. Nos grãos os valores vão de 13,7 a 26,9 mg kg⁻¹, em diversos genótipos dessa leguminosa (BELANE; DAKORA, 2011a).

Cloro

O cloro é absorvido pelos vegetais como íon cloreto (Cl⁻) e tem grande mobilidade no transporte a curta e a longa distância. Ocorre nas plantas principalmente como ânion livre, mas os vegetais superiores possuem mais de 130 compostos orgânicos que contêm esse micronutriente (ENGVILD,

1986). O cloreto atua na estabilização do potencial de membrana, regulação de turgor e pH, osmorregulação, além de sua função no fotossistema II. Nas plantas, os teores médios de cloreto variam de 2 a 20 g kg⁻¹, que são valores típicos de macronutrientes. No entanto, a exigência das plantas por esse nutriente essencial oscila entre 0,2 e 0,4 g kg⁻¹ de biomassa seca (MARSCHNER, 2012). No tocante à sua mobilidade no floema, o cloreto é considerado relativamente móvel no interior do floema e muitas plantas recirculam cerca de 20% do cloreto (WHITE e BROADLEY citados por MARSCHNER, 2012). A deficiência deste elemento em condições de campo é difícil de ocorrer. Na literatura há apenas um relato em plantas de trigo (EPSTEIN; BLOOM, 2006). No Brasil, não há registros de deficiência de cloro, posto que a principal fonte de fertilizante potássico (cloreto de potássio) contém esse micronutriente. A existência de toxidez de cloro em geral encontra-se associada a problemas de salinização dos solos (CASTRO et al. citados por PRADO, 2008), causando no protoplasma distúrbios no balanço iônico, enzimáticos e nas membranas celulares (FLORES citado por PRADO, 2008). A absorção de cloreto por plantas de feijão-vigna, cv. Epace 10, cultivado nas condições de campo e irrigado com água não salina (C.E. = 0,8 dS m⁻¹) foi de 0,31; 5,68; 35,16 e 74,58 kg ha⁻¹, respectivamente aos 8; 23; 43 e 63 dias após a semeadura (NEVES et al., 2009). Plantas de feijão-de-corda, cv. Pituba, cultivadas em vasos com areia lavada (cultivo hidropônico), com solução não salina (0,5 dS m⁻¹), aos 48 dias após a semeadura, apresentaram 18,16 e 15,37 g kg⁻¹ de cloreto nas folhas e caule respectivamente (SOUSA et al., 2007).

9. NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS EM SOLOS AFETADOS POR SAIS

O estresse salino afeta todos os aspectos da fisiologia e metabolismo das plantas. Geralmente, o primeiro efeito da salinidade no desenvolvimento das plantas é a redução no crescimento. Esse fato é provocado pelo decréscimo no potencial hídrico da solução do solo ao nível abaixo do necessário para que ocorra a absorção de água pelas células das raízes, impedindo, por conseguinte, a expansão celular, visto que o potencial de pressão da célula tende a se igualar com o do solo (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Pesquisas foram realizadas com o objetivo de avaliar os efeitos da salinidade sobre o crescimento vegetativo e a nutrição mineral em plantas de feijão-de-

corda. Trabalhando com a cultivar Pitiúba, Sousa et al. (2007) verificaram que a composição iônica da água de irrigação influenciou os teores de nutrientes minerais, especialmente Fe, Cu e Mn, sendo que a absorção desses micronutrientes foi afetada pela maior concentração de sais de cálcio na água de irrigação e pela elevação do pH. Em outro trabalho objetivando avaliar a eficiência no uso da água e de nutrientes (K, Ca, N, P, Fe, Cu, Zn e Mn) por plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina, aplicada nos seus diferentes estádios de desenvolvimento, foi verificado que houve redução da eficiência de utilização da maioria dos nutrientes nas fases de germinação e de crescimento inicial da cultura (LACERDA et al., 2009).

Na maioria das regiões áridas e semiáridas a salinização dos solos ocorre com o acúmulo de determinadas espécies iônicas, principalmente Na^+ e Cl^- . A predominância desses íons no meio de crescimento, além de causar toxidez quando se acumulam nos tecidos vegetais, pode acarretar mudanças na capacidade da planta em absorver, transportar e utilizar outros íons essenciais ao crescimento (GHEYI, 2000). A redução da biomassa seca da parte aérea do feijão-vigna verificada com o aumento da salinidade do solo ocorreu devido ao efeito osmótico dos sais em torno das raízes e do possível acúmulo de íons potencialmente tóxicos (Na^+ e Cl^-) nos tecidos foliares. Como consequência, a planta passou a exercer um controle maior na abertura dos estômatos para evitar a excessiva perda de água por transpiração (COELHO et al., 2013).

O feijão-vigna, cultivar IPA 206, cultivado em solo sílico-sódico não revelou acréscimo nos teores de Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ e K^+ , em decorrência da adição de gesso, até a dose de 150 kg ha^{-1} , porém ocorreu aumento no acúmulo de matéria seca na parte aérea das plantas (LIMA et al., 2008). Com relação ao teor de P, houve efeito significativo, de modo que o aumento das doses de gesso resultou no decréscimo nos teores de P na planta. Provavelmente, a aplicação de doses crescentes de gesso resultou no aumento da concentração de cálcio no solo, favorecendo à reação de complexação, formando compostos tais como fosfato de cálcio, de modo a reduzir sua disponibilidade às plantas (SILVA, 2002).

O estresse salino promoveu acúmulo de íons citotóxicos no limbo foliar do feijão-vigna, cultivar Pituba, elevação na relação Na/K e aumento na suculência foliar, a qual foi insuficiente para impedir a queda na produção de matéria seca das plantas (TRINDADE et al., 2006). Valores de relação K/Na

menores que 1 são indicadores de desequilíbrio nutricional e contribuí para maior intensidade da toxidez iônica (FERREIRA-SILVA et al. citados por DUTRA et al., 2011). Em outra pesquisa, visando avaliar o efeito da irrigação com água salina na cultura do feijão-de-corda, cultivar Epace 10, foi verificado que a irrigação com água de CE igual a $5,0 \text{ dS m}^{-1}$, aplicada no período de crescimento inicial ou durante todo o ciclo vital, proporcionou redução nas taxas fotossintéticas, transpiratórias e de crescimento vegetativo (NEVES et al., 2009). Os autores concluíram ainda que os teores dos elementos minerais (Na, K, Ca, N, P e Cl) variaram ao longo das fases fenológicas da planta em virtude dos efeitos de diluição, mobilização no interior do vegetal e também devido às concentrações dos mesmos na água de irrigação. O aumento da temperatura de cultivo potencializa os efeitos deletérios da salinidade em feijão-vigna. Dutra et al. (2011) observaram que plantas pré-tratadas com NaCl (100 mM) e submetidas a temperatura de $42 \text{ }^\circ\text{C}$, aumentaram em cerca de sete vezes os teores de sódio em folhas, caules e raízes em relação às plantas testemunhas. Além disso, as altas temperaturas promoveram maior acúmulo de sódio do que de cloreto nas raízes e maior acúmulo de cloreto do que de sódio nas partes aéreas do vigna.

10. EXPORTAÇÃO DE NUTRIENTES PELAS COLHEITAS

Avaliando o efeito da saturação por bases e da adubação fosfatada sobre teores e acúmulos de macro e micronutrientes na massa seca da parte aérea e nos grãos de feijão-vigna, Fonseca et al. (2010) verificaram que os macronutrientes mais extraídos pelo vigna foram o N, K e Ca, enquanto para os micronutrientes foram Fe, B e Mn. Esse resultado confirmou o obtido por Neves et al. (2009) no qual plantas de feijão-de-corda extraem os minerais na seguinte ordem decrescente: $\text{N} > \text{K} > \text{Ca} > \text{P}$, sendo que o N e P são encontrados em maiores proporções nos frutos.

O feijão-vigna, variedade BR3 Tracueteua, cultivado em condições de campo, apresentou 20,0; 1,6; 32,5; 15,9; 4,0 e 4,0 g kg^{-1} , respectivamente de N, P, K, Ca, Mg e S na parte aérea da planta, 18,6; 1,1; 42,0; 8,8; 4,0 e 0,9 g kg^{-1} na matéria seca da vagem, e 41,8; 3,4; 28,5; 2,9; 1,9 e 2,7 g kg^{-1} na matéria seca dos grãos (PARRY et al., 2008).

11. REFERÊNCIAS

- ACCIOLY, J.C. Teores de ferro, manganês, zinco, cobre e molibdênio em gramíneas e leguminosas coletadas em Fortaleza-CE. **Revista Ciência Agronômica**, v.2(1): p.57-65, 1972.
- ALVES, S. V.; ALVES, S. S. V.; CAVALCANTI, M. L. F. DEMARTELAERE, A. C. F.; LOPES, W. A. R. Produção de feijão caupi em função de diferentes dosagens e concentração de biofertilizantes. **Revista Verde**, Mossoró–RN, v.4, p.45-49, 2009.
- ARAÚJO, E.O.; SANTOS, E.F.; OLIVEIRA, G.Q.; CAMACHO, M.A.; DRESCH, D.M. Eficiencia nutricional de variedades de caupi en la absorción del fósforo. **Agronomía Colombiana**. v.30(3), p. 419-424, 2012.
- ARAÚJO, V. S.; QUEIROZ, J. V. J.; FURTADO, L. M.; ARAÚJO, A. M. S. Efeitos de diferentes doses de nitrogênio e calcário na produção do feijão caupi. **I CONAC**, 2006, Teresina-PI.
- BELANE, A.K.; DAKORA, F.D. Levels of nutritionally-important trace elements and macronutrients in edible leaves and grain of 27 nodulated cowpea (*Vigna unguiculata* L. Salp) genotypes grown in the Upper West Region of Ghana. **Food Chemistry**.v.125, p. 99-105, 2011a.
- BELANE, A.K.; DAKORA, F.D. Photosynthesis, symbiotic N and C accumulation in leaves of 30 nodulated cowpea genotypes grown in field at Wa in the Gundasavana of Ghana. **Field Crops Research**. v.124, p. 279-287, 2011b.
- BOARO, C. S. F; RODRIGUES, J. D; PEDAS, J. F; RODRIGUES, S. D; DELACHIAVE, M. E.; MISCHAN, M. M. Níveis de magnésio em solução nutritiva e o desenvolvimento do feijoeiro(*Phaseolus vulgaris* L. cv Carioca): avaliação de parâmetros biométricos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.53, 1996.
- BONATO, C. M; FILHO, C. J. R; MELGES, E; SANTOS, V. D. **Nutrição Mineral de Plantas**. UEM - Universidade Estadual de Maringá, Maringá -PR, p.1-60, 1998.

BRITO, M. M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento de feijão e caupi. **Bragantia**, Campinas, v.70, n.1, p.206-215, 2011.

CASTELLÓN, R. E. R.; ARAÚJO, F. M. M. C.de; RAMOS, M. V.; ANDRADE NETO, M.; FREIRE FILHO, F. R.; GRANGEIROS, T. B.; CAVADA, B. S. Composição elementar e caracterização da fração lipídica de seis cultivares de caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.149-153, 2003.

CASTRO, A. C. R.; **Deficiência de macronutrientes em helicônia ‘Golden Torch’**.2007. 91 f. Tese (Doutorado em Botânica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife, 2007.

CAVALCANTI, F. J. de A. et al., **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: 2a aproximação**. 2a.ed. 3ª Ed. Recife, PE: IPA. 2008. 212 p.

CHAUDHARY, M.I.; ADU-GYAMFI, J.J.; SANEOKA, H.; NGUYEN, N.T.; SUWA, R.; KANAI, S.; EL-SHEMY, H.A.; LIGHTFOOT, D.A.; FUJITA, K. The effect of phosphorus deficiency on nutrient uptake, nitrogen fixation and photosynthetic rate in mash bean, mungbean and soybean. **Acta Physiologiae Plantarum**, v.30, p. 537-544, 2008.

COELHO, J. B. M.; BARROS, M. F. C.; BEZERRA NETO, E.; CORREA, M. M. Comportamento hídrico e crescimento do feijão vigna cultivado em solos salinizados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.17, p.379–385, 2013.

DAHIYA, P.K.; LINNEMANN, A.R.; NOUT, M.J.R.; VAN BOEKEL, M.A.J.S.; GREWAL, R.B. Nutrient composition of selected newly bred and established mung bean varieties. **LWT-Food Science and Technology**.v.54, p. 249-256, 2013.

DUTRA, A. T. B.; SILVA, E. N.; RODRIGUES, C. R. F.; VIEIRA, S. A.; ARAGÃO, R. M.; SILVEIRA, J. A. G. R. Temperaturas elevadas afetam a distribuição de íons em plantas de feijão caupi pré-tratadas com NaCl. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, p.403–409, 2011.

EMBRAPA MEIO-NORTE. **Cultivo de feijão vigna**. 2003. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoCaupi/>>. Acesso em: 30.mai.2015.

ENGVILD, K.C. Chlorine-containing natural compounds in higher plants. **Phytochemistry**, v.25, p. 781-791, 1986.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Londrina - PR: Editora Planta, 2006.

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

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. <<http://faostat.fao.org/faostat/>>. **Dados de produção agrícola mundial**. Última atualização em 2012. Acesso em: 30.mai.2015.

FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Sociedade Brasileira de Ciências do Solo. Viçosa, MG, 2006.

FLYMAN, M.V.; AFOLAYAN, A.J. Effect of plant maturity on the mineral content of the leaves of *Momardica balsamica* L. and *Vigna unguiculata* Subsp. *sesquipedalis* (L.) Verdc. **Journal of Food Quality**, v.31, p. 661-671, 2008.

FONSECA, M. R.; FERNANDES, A. R.; SILVA, G. R.; BRASIL, E. C. Teor e acúmulo de nutrientes por plantas de feijão caupi em função do fósforo e da saturação por bases. **Revista de Ciências Agrárias**, v.53, p.195-205, 2010.

FREIRE FILHO, F.R. ed. **Feijão-Caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Terezina: Embrapa Meio Norte. 84p, 2011.

FROTA, K. M. G.; SOARES, R. A. M.; AREAS, J. A. G.; Composição química do feijão vigna (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS-Milênio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. [online]. v.28, p. 470-476, 2008.

GHEYI, H. R. Problema de salinidade na agricultura irrigada. In: OLIVEIRA, T. S.; ASSIS, R. N.; ROMERO, R. E.; SILVA, J. R. C. (eds). **Agricultura, sustentabilidade e o semi-árido**. Fortaleza: DCS/UFC, 2000, p. 329-346.

GÓMEZ, L. A.; HERNÁNDEZ, G.; SÁNCHEZ, M.; SÁNCHEZ, T.; TOSCANO, V.; VADEZ, V. Evaluación de la tolerancia al estrés de fósforo en Caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) en Cuba. I. Cultivo en solución nutritiva, **Agronomía Mesoamericana**, v.13, p. 59-65, 2002.

GUALTER, R. M. R.; LEITE, L. F. C.; ARAÚJO, A. S. F.; ALCANTARA, R. M. C. M.; COSTA, D. B. Inoculação e adubação mineral em feijão vigna: efeitos na nodulação, crescimento e produtividade. **Scientia Agrária**, v.9, p.469-474, 2008.

HORN, D; ERNANI, P. R; SANGOI, L; SCHWEITZER, C; CASSOL, P. C. Parâmetros cinéticos e morfológicos da absorção de nutrientes em cultivares de milho com variabilidade genética contrastante. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.30, p. 77-85, 2006.

HUNGRIA, M.; BARRADAS, C. A. & VALLSGROVE, R. M. Nitrogen fixation, assimilation and transport during the initial growth stage of *Phaseolus vulgaris* L. J. **Experimental Botany**, v.42, p. 839-844, 1991.

LACERDA, C. F.; NEVES, A.L.R.; GUIMARÃES, F.V.A; SILVA, F.L.B.; PRISCO, J.T.; GHEYI, H.R. Eficiência de utilização de água e nutrientes em plantas de feijão-de-corda irrigadas com água salina em diferentes estádios de desenvolvimento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [online]. v.29, p. 221-230, 2009.

LIMA, C. J. G. S.; OLIVEIRA, F. A; MEDEIROS, J. F; OLIVEIRA, M. K. T.; JÚNIOR, A. B. A.; Resposta do feijão vigna a salinidade da água de irrigação. **Revista Verde**, v.2, p. 79–86, 2007.

LIMA, F. S.; BARROS, M. F. C.; FERRAZ, F. B.; SILVA JUNIOR, S.; OLIVEIRA, L. B. Absorção de nutrientes e sódio pelo caupi em solos salino-sódicos corrigidos com gesso. **Revista Caatinga**. v.21, p. 95-101, 2008.

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

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006, 638p.

MARIANO, E. DAL'AVA; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; ANDRADE, A. T.; MARIANO, I. O. dos S. Níveis críticos de boro em solos de várzea para o cultivo do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, p.1637-1644, 2000.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3ed. Academic Press, 2012. 649 p.

MELO, F. B.; CARDOSO, M. J.; SALVIANO, A. A. C. Fertilidade do solo e adubação. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa Informações Tecnológicas. 2005. p: 231-242.

MELO, S. R.; ZILLI, J. E.; Fixação biológica de nitrogênio em cultivares de feijão vigna recomendadas para o Estado de Roraima. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p. 1177-1183, 2009.

MENGEL, K. & KIRKBY, E. **Principles of plant nutrition**. 5.ed. Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.

MIRANDA, R. S.; SUDÉRIO, F. B.; SOUSA, A. F.; GOMES FILHO, E. Deficiência nutricional em plântulas de feijão-de-corda decorrente da omissão de macro e micronutrientes. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p. 326-333, 2010.

NEVES, A. L. R.; LACERDA, C. F. de; GUIMARÃES, F. V. A.; GOMES FILHO, E.; FEITOSA, D. R. C. Trocas gasosas e teores de minerais no feijão-de-corda irrigado com água salina em diferentes estádios. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, (Suplemento), p.873-881, 2009.

OLIVEIRA, A. P.; BRUNO, R. L. A.; BRUNO, G. B.; ALVES, E. U.; PEREIRA, E. L. Produção e qualidade de sementes de feijão-vigna (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.), em função de doses e formas de aplicação de nitrogênio. **Revista Brasileira de Sementes**, vol. 23, nº 2, p.215-221, 2001 Disponível em: <http://www.abrates.org.br/revista/artigos/2001/v23n2/artigo30.pdf> Acesso em: 30. mai. 2015.

OLIVEIRA, A. P.; SILVA, V. R. F.; ARRUDA, F. P. de; NASCIMENTO, I. S. do; ALVES, A. U. Rendimento de feijão-vigna em função de doses e formas de aplicação de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, v.21, p. 77-80, Brasília, 2003.

OLIVEIRA, W. S. et al. Alfalfa yield and quality as function of nitrogen fertilization and symbiosis with *Sinorhizobium meliloti*. **Scientia Agricola**. [online]. v.61, p. 433-438, 2004.

OLIVEIRA, A. P.; SILVA, J. A.; LOPES, E. B.; SILVA, E. E.; ARAÚJO, L. H. A.; RIBEIRO, V. V. Rendimento produtivo e econômico do feijão-caupi em função de doses de potássio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, p.629-634, 2009.

PARRY, M. M.; KATO, M. S. A.; CARVALHO, J. G. de. Macronutrientes em vigna cultivado sob duas doses de fósforo em diferentes épocas de plantio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** [online]. v.12, p. 236-242, 2008.

PRADO, R. M. **Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 407 p.

REIS, a.r.; RODAK, B.W.; PUTTI, F.F.; MORAES, M.F. Papel fisiológico do níquel: essencialidade e toxidez em plantas. **Informações agronômicas**, N. 147, set. 2014. 24 p.

RIBEIRO V. Q.; **Cultivo do feijão-vigna** (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. 108p. (Embrapa Meio-Norte. Sistemas de Produção: 2).

RUMJANEK, N. G.; MARTINS, L. M. V.; XAVIER, G. R. & NEVES, M. C. P. Fixação biológica de nitrogênio. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A. & SAMPAIO, L. S.; BRASIL, E. C. Exigência nutricional do feijão-caupi. **Anais de II CONAC**: Congresso Nacional do feijão-caupi, Recife-PE, p. 573-587, 2009.

SAMPAIO, L. S.; BRASIL, E. C. Exigência nutricional do feijão-caupi. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 2., 2009, Belém, PA. Da agricultura de subsistência ao agronegócio: **Anais**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. p. 56-72. 1 CD-ROM. Palestra. [Http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/59651/1/Exigencia.pdf](http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/59651/1/Exigencia.pdf). Acessado em 30.mai.2015.

SANTOS, J. F.; LEMOS, J. N. R.; NÓBREGA, J. Q.; GRANGEIRO, J. I. T.; BRITO, L. M. P.; OLIVEIRA, M. E. C. Produtividade do feijão vigna utilizando biofertilizante e uréia. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, v.1, p.25-29, 2007.

SILVA, E. F. L.; ARAUJO, A. S. F.; SANTOS, V. B.; NUNES, L. A. P. L.; CARNEIRO, R. F. V. Fixação biológica do N₂ em feijão-vigna sob diferentes doses e fontes de fósforo solúvel. **Bioscience Journal**, v.26, p.394-402, 2010a.

SILVA A.J.; UCHÔA, S.C.P.; ALVES, J.M.A.; LIMA, A.C.S.; SANTOS, C.S.V.; OLIVEIRA, J.M.F.; MELO, V.F. Resposta do feijão-vigna a doses e formas de aplicação de fósforo em Latossolo Amarelo do Estado de Roraima. **Acta Amazônica**, v.40 (1), p. 31-36, 2010b.

SILVA, L. M.; LEMOS, L. B.; CRUSCIOL, C. A. C.; FELTRAN, J. C. Sistema radicular de cultivares de feijão em resposta à calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.701-707, 2004.

SILVA, K. J. D. e. **Estatística da produção de feijão-caupi**. 2009. Disponível em: <http://www.portaldoagronegocio.com.br/conteudo.php?id=34241>. Acesso em 15.mai.2015.

SILVA, M. L. de S. **Sistema de amostragem do solo e avaliação da disponibilidade de fósforo na fase de implantação do plantio direto**. 2002, 111 f., Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2002.

SOUSA, R.A.; LACERDA, C.F.; AMARO FILHO, J.;HERNANDEZ, F.F.F. Crescimento e nutrição mineral do feijão-de-corda em função da salinidade e da composição iônica da água de irrigação. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.2, p.75-82, 2007.

TAFFOUO, V.D.; NGWENE, G.; AKOA, A.; FRANKEN, P. Influence of phosphorus application and arbuscular mycorrhizal inoculation on growth, foliar nitrogen mobilization, and phosphorus partitioning in cowpea plants. **Mycorrhiza**, v.24, p, 363-368, 2014.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TRINDADE, A. R.; LACERDA, C. F. de; GOMES FILHO, E.; PRISCO, J. T.; BEZERRA, M. A. Influência do acúmulo e distribuição de íons sobre a aclimação de plantas de sorgo e feijão-de-corda, ao estresse salino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.804-810, 2006.

UARROTA, V. G. Response of Cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) to Water Stress and Phosphorus Fertilization. **Journal of Agronomy**. v.9, p.87-91, 2010.

VOSS, E.A. da S.; SILVA, E.P. da. **Produção de sementes de feijão-miúdo**. São José do Norte: EMTER-RS/ASCAR, 2005. 12p.

XAVIER, G. R.; MARTINS, L.M.V.; TIBEIRO, J.R.A.; RUMJANEK, N.G. Especificidade simbiótica entre rizóbio e acessos de feijão-vigna de diferentes nacionalidades. **Revista Caatinga**, v.19, p. 25-33, 2006.