
MOLIBDÊNIO NO METABOLISMO E DINÂMICA VEGETAL: UMA REVISÃO

MOLYBDENUM IN VEGETABLE METABOLISM AND DYNAMICS: A REVIEW

Silvana Rodrigues Vaz Alves¹, Mariana Pina da Silva Berti²



RESUMO: Os micronutrientes são elementos essenciais requeridos pelas plantas em pequenas quantidades. Embora a baixa necessidade, as atividades metabólicas dos vegetais são limitadas caso os micronutrientes estejam indisponíveis, resultando em anormalidades, crescimento reduzido e menor rendimento da produção. No grupo dos micronutrientes, destaca-se o molibdênio. É um nutriente pertencente ao grupo dos micronutrientes essenciais para as plantas, participa de diversas reações no metabolismo vegetal. A função fisiológica do molibdênio está associada com o metabolismo do nitrogênio nas plantas, como a fixação biológica do nitrogênio (nitrogenase), assimilação do nitrato (reductase do nitrato) e síntese de proteínas. As principais fontes molíbdicas são o molibdato de sódio, molibdato de amônio, molibdato de cálcio, trióxido de molibdênio ou óxido de molibdênio e ácido molíbdico. O molibdênio apresenta boa mobilidade no solo, sendo absorvido pelas plantas como molibdato, forma aniônica presente na solução do solo, chegando às raízes, principalmente, via fluxo de massa e em seguida é transportado pelo xilema. É redistribuído das partes mais velhas para as mais novas na forma aniônica de oxidação máxima. Quando fornecido via foliar, o Mo é parcialmente móvel na planta. Portanto, cabe ressaltar que o molibdênio é indispensável para o desenvolvimento saudável das plantas.

PALAVRAS-CHAVE: Micronutriente, metabolismo, dinâmica, mobilidade.

ABSTRACT: Micronutrients are essential elements required by plants in small amounts. Despite the low requirement, the metabolic activities of vegetables are limited if micronutrients are unavailable, resulting in abnormalities, reduced growth, and lower production yields. In the group of micronutrients, molybdenum stands out. It is a nutrient belonging to the group of micronutrients essential for plants, it participates in several reactions in plant metabolism. The physiological function of molybdenum is associated with nitrogen metabolism in plants, such as biological nitrogen fixation (nitrogenase), nitrate assimilation (nitrate reductase) and protein synthesis. The main sources of molybdate are sodium molybdate, ammonium molybdate, calcium molybdate, molybdenum trioxide or molybdenum oxide and molybdic acid. Molybdenum has good mobility in the soil, being absorbed by plants as molybdate, an anionic form presents in the soil solution, reaching the roots mainly via mass flow and then being transported by the xylem. It is redistributed from older to younger parts in the anionic form of maximum oxidation. When supplied via the leaves, Mo is partially mobile in the plant. Therefore, it should be noted that molybdenum is essential for the healthy development of plants.

KEYWORDS: Micronutrient, metabolism, dynamic, mobility.

¹Discente em Produção Vegetal pela Universidade Estadual de Goiás - UEG, Campus Sul, UnU Ipameri, Rodovia GO 330, Km 241, Anel viário, Ipameri, GO. E-mail: silvanaagro@hotmail.com

²Docente da UEG, Campus Sul, UnU Ipameri.

INTRODUÇÃO

Entende-se por nutriente essencial aquele que participa de algum composto ou reação, sem o/a qual, a planta não sobrevive, não podendo, então, ser substituído por nenhum outro. Atualmente, são dezenove, os nutrientes essenciais (MALAVOLTA, 2008). Os micronutrientes ocorrem em teores muito baixos no solo e a quantidade total varia com o material de origem e o grau de intemperização dos solos. Os solos derivados de basalto são mais ricos em micronutrientes, que os derivados de arenitos (SILVA et al., 2020).

O molibdênio, pertencente ao grupo dos micronutrientes essenciais para as plantas, embora exigido em menor quantidade, e não por isso menos importante, participa de diversas reações no metabolismo vegetal como cofator nas enzimas nitrogenase, redutase do nitrato, oxidase de aldeído, oxidase do sulfato e oxidase da xantina, atuando no transporte de elétrons durante as reações bioquímicas (MALAVOLTA, 2006).

Os valores de molibdênio inferiores a $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ alteram negativamente o metabolismo do nitrogênio, uma vez que diminui a síntese e a atividade da nitrogenase, reduzindo a fixação biológica de nitrogênio; acumula o nitrato resultando na diminuição

da atividade da redutase do nitrato (FONSECA, 2006); além de interferir negativamente na formação de ácido ascórbico, quantidade de clorofila e atividade respiratória (DECHEN; NACHTIGALL, 2006).

As principais fontes molíbdicas são o molibdato de sódio (Na_2MoO_4), molibdato de amônio ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$), molibdato de cálcio (CaMoO_4), trióxido de molibdênio ou óxido de molibdênio (MoO_3) e ácido molíbdico (H_2MoO_4) (OLIVEIRA et al., 2017).

O molibdato de sódio contém de 39 a 47% de molibdênio, é uma formulação solúvel em água, e por isso tem várias aplicações na agricultura sendo utilizado em sistemas de hidroponia, pulverização foliar, fertirrigação ou diretamente no solo. Seu fornecimento pode ser isolado ou em combinação com outros sais. Uma das formulações mais encontradas no mercado é o molibdato de amônio que contém, aproximadamente, 54% de molibdênio e é solúvel em água (SILVA, 2020).

O ácido molíbdico é formulado com 66,7% de molibdênio, é pouco solúvel em água e é frequentemente utilizado como fonte de matéria prima para outras formulações a base deste micronutriente. Já os fertilizantes trióxido de molibdênio, com 66% de Mo e

molibdato de cálcio, com 48% de Mo, não são solúveis em água e por isso pouco utilizado na agricultura (SILVA, 2020).

O fornecimento de molibdênio via foliar é mais indicado, devido a correção imediata da carência deste micronutriente quando comprado com a adubação via solo. Ademais, a adubação foliar objetiva o acúmulo do nutriente na semente (ROCHA et al., 2011). Em geral, os solos e as sementes apresentam teores satisfatórios de molibdênio para atender às necessidades das culturas (MORAES et al., 2008).

MOLIBDÊNIO NO SOLO

O molibdênio é um metal encontrado em todas as rochas da crosta terrestre, o principal minério do qual o molibdênio é extraído comercialmente é a molibdenita. Este micronutriente está presente no solo como ânion de molibdato MoO_4^{2-} , na sua forma de valência mais alta, e em menor quantidade como hidrogenmolibdato, HMoO_4 (DECHEN; NACHTIGALL, 2006; FONSECA, 2006).

É o menos abundante dos micronutrientes no solo, com teores totais de 2 mg kg^{-1} , podendo variar entre $0,013 \text{ mg kg}^{-1}$ e $17,0 \text{ mg kg}^{-1}$ nos diferentes tipos de solo, sendo que os derivados de argilitos e de granitos com maiores quantidades deste

mineral. Em solos brasileiros, os teores totais de molibdênio encontrados na camada superficial do solo são entre $0,06$ e 6 mg kg^{-1} , enquanto a disponibilidade do mesmo se encontra entre os valores de $0,01$ e $1,4 \text{ mg kg}^{-1}$. Via de regra, os solos brasileiros são pobres no nutriente e pode haver necessidade de adicioná-lo como fertilizante (MALAVOLTA et al., 1991).

Está presente de quatro maneiras na solução do solo: não disponível, retido no interior da estrutura dos minerais primários e secundários; parcialmente disponível ou trocável, absorvido nas partículas das argilas, de modo particular nos óxidos de Fe e Al, na forma de MoO_4^{2-} e a sua disponibilidade em função do pH e do teor de fósforo disponível; ligado a matéria orgânica; e na forma solúvel em água (DECHEN; NACHTIGALL, 2006; SINHA, 1971).

Broch e Ranno (2010), destaca que a disponibilidade do molibdênio no solo é afetada pela quantidade de matéria orgânica, pH, teor de fósforo disponível e textura do solo. As reações e a associação do Mo com a matéria orgânica ainda não são perfeitamente compreendidas. Enquanto Davies (1956) relata baixos teores deste micronutriente em solos ricos em matéria orgânica, Aubert e Pinta (1977) asseguram que este elemento

está intimamente associado à matéria orgânica do solo.

O pH do solo tem sido um dos fatores de maior influência na disponibilidade do molibdênio, Souza et al. (2008) explica que essa ação é porque o molibdato fixado é deslocado dos sítios de troca pelas hidroxilas OH^- , e tem a sua atividade aumentada em solução com a elevação do pH, relação linear até pH 8,0. Para cada unidade de aumento do pH, a solubilidade de Mo aumenta aproximadamente cem vezes (LOPES; GUILHERME, 2007).

O incremento no pH do solo resulta na dessorção de molibdato, levando ao aumento da sua fitodisponibilidade. A molibdita MoS_2 , mineral primário de molibdênio, é lentamente oxidada e transformada em ânion de molibdato MoO_4^{2-} , que após a dissolução pode ser adsorvido por argilas, óxidos de ferro (Fe), alumínio (Al), manganês (Mn), compostos orgânicos e carboidratos (RAIJ, 2011).

A carência de reservas naturais de molibdênio ocorre por diversos fatores, como solos ácidos, com pH menor que 5,5; solos arenosos; doses pesadas de sulfatos; níveis elevados de cobre; a exportação pela semente; o aumento da produção e a falta de adubação molíbdica (ASCOLI et al., 2008).

Portanto, em região de clima tropical, onde há predomínio de solos ácidos, o molibdênio é adsorvido, tendo sua disponibilidade às plantas reduzida. Normalmente, a calagem é o bastante para prevenir a deficiência deste micronutriente, entretanto em alguns casos, só é possível incrementar a produção com o fornecimento de sais de molibdênio (FONSECA, 2006).

ABSORÇÃO, TRANSPORTE E REDISTRIBUIÇÃO DO MOLIBDÊNIO

O molibdênio apresenta boa mobilidade no solo, sendo absorvido pelas plantas como molibdato (MoO_4^{2-}), forma aniônica presente na solução do solo, chegando às raízes, principalmente, via fluxo de massa e em seguida é transportado pelo xilema, sendo o processo de redistribuição realizado dos órgãos mais velhos para os mais jovens (RANA et al., 2020). Quando fornecido via foliar, o Mo é parcialmente móvel na planta (FONSECA, 2006).

O molibdato (MoO_4^{2-}) possui propriedades semelhantes à de outros metais, como sulfato (SO_4^{2-}) e hidrogenofosfato (HPO_4^{2-}), portanto essa aproximação química pode trazer implicações na disponibilidade de Mo no solo e na absorção das plantas (JACOB NETO; ROSSETO, 1998).

MARCA DE ABSORÇÃO

A marcha de absorção de molibdênio na cultura da soja inicia-se lenta até os 30 dias, mantendo-se alta após esse período com máximo aos 60-90 dias. Entretanto, diferentemente dos outros micronutrientes, a absorção do Mo na fase reprodutiva (final) dos 90-120 dias, mantém-se alta, provavelmente para atender à alta atividade do sistema nitrogenase nesta fase do ciclo de vida da planta (PRADO, 2021).

Sfredo e Oliveira (2010) destacam que mais de 58% do Mo exigido pela soja é absorvido nos primeiros 45 dias da cultura, por isso é primordial o fornecimento via foliar nos estádios iniciais de desenvolvimento das plantas, de V2 a V4. De acordo com o trabalho conduzido por Comiran (2019) a aplicação de molibdênio via foliar no período reprodutivo R2 entregou maior número de vagens, assim como grãos por vagem. A dosagem de molibdênio recomendada para soja no tratamento de sementes e via foliar é de 12 a 25 g ha⁻¹ (SFREDO; OLIVEIRA, 2010).

Em experimento conduzido por Berger et al. (1996) no feijão, verificou-se que o período de maior absorção de molibdênio foi de 14 a 28 dias após a emergência das plantas,

e a dosagem adequada para adubação foliar varia de 80 a 90 g ha⁻¹.

Nesse mesmo sentido estão os resultados encontrados por Rocha et al. (2011), que aplicou Mo via foliar, em doses crescentes, aos 25 dias após a emergência do feijoeiro e observou aumento linear no teor deste metal nas folhas, durante o florescimento das plantas de feijão.

Carvalho et al. (2019), conduziu um trabalho e obteve resultados promissores para a aplicação de molibdênio, via tratamento de sementes de feijão, em doses de até 88 g 100 kg⁻¹ de sementes sem causarem danos à qualidade fisiológica das sementes. Conclui, também, que o crescimento da taxa de Mo nas plântulas de feijão foi linear ao aumento das doses aplicadas na semente.

Na cultura do milho o molibdênio tem sua máxima absorção aos 15 dias após a emergência, momento em que é indicado o fornecimento deste elemento essencial via foliar na dosagem de 90 g ha⁻¹, quantidade indicada por Araújo et al. (2010) devido a obtenção de resultados mais expressivos em seus estudos.

Na maioria dos trabalhos realizados com adubação molíbdica no milho, observa-se pouca resposta dessa cultura ao micronutriente que pode ser justificada pelo

teor suficiente de Mo no solo, como também na reserva das sementes, cuja taxa de 0,08 mg kg⁻¹ é eficaz para o crescimento e desenvolvimento da cultura (PESTANA et al., 2014).

No estudo desenvolvido por Cunha e Haag (1980) sobre a marcha de absorção de nutrientes na cultura do mamoeiro, tem-se que a absorção de molibdênio pelo caule foi crescente, atingindo aos 360 dias de idade no campo, um acúmulo estimado de 0,07 g ha⁻¹. Já pelas folhas, a absorção foi rápida até aproximadamente aos 270 dias, com 0,09 g ha⁻¹, e a partir daí, tendeu-se a estabilização, com posterior decréscimo no final. Por fim, nas flores e frutos, o acúmulo nesses órgãos foi crescendo, atingindo 0,08 g ha⁻¹ aos 360 dias.

Analisando a cultura do pimentão sob fertirrigação, Marcussi e Villas Bôas (2003) observaram que a quantidade de micronutrientes acumulada na planta é pequena até 40 dias após o transplântio das mudas (DAT), subindo gradualmente até 120 DAT e dobrando seu valor dos 120 aos 140 DAT, sugerindo que a adubação, com micronutrientes seja feita de maneira equilibrada dos 40 aos 120 DAT, e praticamente dobrando a necessidade da

adubação do período anterior para o período de 120 a 140 DAT.

Em hortaliças, no geral, recomenda-se a adubação foliar de molibdênio em duas pulverizações entre a fase vegetativa até o início do florescimento. O fornecimento de Mo para ervilha deve ser via foliar no estágio R1 (DIAS, 2017).

PARTICIPAÇÃO NO METABOLISMO VEGETAL

A função fisiológica do molibdênio está associada com o metabolismo do nitrogênio nas plantas, como a fixação biológica do nitrogênio (nitrogenase), assimilação do nitrato (reductase do nitrato) e síntese de proteínas (DECHEN; NACHTIGALL, 2006). Além de participar da estrutura das enzimas xantina oxidase-desidrogenase, sulfito-oxidase e aldeidooxidase, que catalisam diversas reações bioquímicas nas plantas. Esta participação do Mo está diretamente ligada com o transporte de elétrons durante essas reações. A presença do Mo na oxidação do sulfito pelo sulfito-oxidase é mais clara em microrganismos do que em plantas superiores, considerado como componente fundamental em reações metabólicas da planta, via formação de enzimas do metabolismo do nitrogênio

(nitrogenase e redutase do nitrato) (FONSECA, 2006).

A nitrogenase é uma enzima complexa responsável pela fixação biológica de nitrogênio pelos rizóbios, onde quebra as ligações do nitrogênio atmosférico e o converte nas formas em que a planta o absorva, nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) (DALL'AGNOL; NOGUEIRA, 2021). Essa enzima é constituída por duas metaloproteínas, a ferro-molibdênio (Mo-Fe-S) e a ferro-proteína (Fe-S) (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). O molibdênio do grupamento ferro-proteína transfere elétrons diretamente para o nitrogênio atmosférico, enquanto o ferro age como transmissor de elétrons (KIRKBY; ROMHELD, 2007).

Outra enzima essencial é a redutase do nitrato, que ocorre em duas fases, a primeira fase catalisa a redução do nitrato (NO_3^-) a nitrito (NO_2^-) demandando a presença de flavina (NAD) e molibdênio, durante a reação (SFREDO; OLIVEIRA, 2010). Durante a redução, os elétrons são transportados diretamente do molibdênio para o nitrato (KIRKBY; ROMHELD, 2007). E a segunda reduz o nitrito (NO_2^-) a amônia (NH_3), a qual será convertida em aminoácidos e proteínas na planta (FAQUIN, 2005).

De acordo com Prado (2021), além dessas funções, o molibdênio também está envolvido na atividade respiratória; na síntese de ácido ascórbico; no metabolismo do enxofre (redutase do sulfito); na formação de grãos de pólen; e no crescimento e desenvolvimento das plantas.

EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DAS CULTURAS

O molibdênio é o micronutriente exigido em menor quantidade pelas plantas. A quantidade de Mo encontrada na planta varia entre 0,1 e 10 mg kg^{-1} de massa seca (MARTINEZ et al., 1996). Dechen e Nachtigall (2006), destacam que as concentrações apropriadas para o crescimento e desenvolvimento das espécies vegetais estão na faixa entre 0,6 e 10 mg kg^{-1} de massa seca.

O fertilizante molíbdico é fornecido para a planta de três maneiras principais: via semente, solo e foliar. A quantidade aplicada na semente é de 50 a 400 g ha^{-1} ; no solo é de 0,5 a 2,2 kg ha^{-1} , de acordo com a cultura e pH do solo; e na folha é entre 60 e 218 mg ha^{-1} . O fornecimento via semente é, normalmente, no tratamento de semente a fim de otimizar a fixação biológica de nitrogênio (COMIRAN, 2019).

Identificar a extração e a exportação de nutrientes pelas culturas é fundamental para atender às exigências nutricionais das plantas, racionalizar custos com adubação e manejar a fertilidade do solo, visando obter alta produtividade (PEREZ et al., 2013).

A extração é a quantidade total de nutrientes que a planta retira do solo para se desenvolver, permanecendo nos restos culturais após a colheita. A quantidade extraída depende da produção final e do acúmulo de nutrientes nos grãos e em outras partes das plantas. E é influenciada por fatores ambientais e genotípicos (VASCONCELLOS et al., 2000).

Já a exportação se refere a quantidade de nutrientes contidos nos grãos ou na massa seca produzida, ou seja, é a quantidade do mineral retirado da lavoura pela colheita. Quando apenas os grãos são exportados, a saída de nutrientes será menor do que quando a cultura se destina a silagem (SIMÃO et al., 2017).

A extração de molibdênio pelas hortaliças é extremamente pequena. Entretanto, esse metal é tão importante para essas plantas quanto os demais nutrientes. Dentre as hortaliças, a ervilha, o alho e o feijão-vagem são as que mais absorvem o elemento essencial. Na tabela 1 seguem os dados.

Tabela 1. Extração de molibdênio pelos produtos frescos colhidos de algumas hortaliças.

Hortaliças	Extração de Molibdênio em mg/t
Alho	82,3
Berinjela	1,4
Cebola	1,0
Cenoura	5,3
Ervilha	226,8
Feijão-vagem	48,2
Quiabo	23,4
Pimentão	2,9
Tomate	1,0

Fonte: Adaptado de Pereira et al., 2016.

O molibdênio tem papel fundamental no aumento da produtividade das leguminosas, uma vez que é componente das enzimas responsáveis pela fixação biológica do nitrogênio, nitrogenase e nitrato redutase.

A soja extrai 7 mg por toneladas de grãos produzidos, sendo exportado 71% pela colheita (EMBRAPA, 2013).

Em estudo conduzido por Pessoa et al. (2000) no feijoeiro, observou-se que para

produzir 1 tonelada de grão de feijão, é extraído 4 g de molibdênio pelas raízes e parte aérea, e é exportado pelos grãos colhidos 3,2 g de Mo.

Apesar de ser exigido em menor quantidade pelas plantas, estudos mostram respostas interessantes à aplicação de molibdênio na cultura do milho (PERREIRA, 2010). Para a produção de uma tonelada de grão de milho, a planta extrai do solo 1 g e exporta 0,7 g de Mo (COELHO; FRANÇA, 1995).

Na cultura do mamoeiro, o molibdênio é o micronutriente menos absorvido, porém é, relativamente, o mais acumulado nas flores e frutos, 36% do total absorvido. Pesquisas realizadas demonstraram que uma produtividade de 49 t/ha/ano de mamão exporta 0,38 g/ha de molibdênio (OLIVEIRA et al., 2004).

É importante lembrar que a adubação química para repor somente os teores extraídos não contribui para a melhoria da fertilidade do solo, sendo necessário calcular a quantidade de fertilizante a ser fornecida a partir da produção desejada e consequente exportação do nutriente pela cultura (EMBRAPA, 2013).

SINTOMATOLOGIA DE DEFICIÊNCIAS E EXCESSOS NUTRICIONAIS

Os micronutrientes são utilizados pelas plantas em pequenas quantidades. Sua carência, no entanto, afeta o crescimento e a produtividade da planta. O molibdênio é essencial, principalmente, para as culturas leguminosas, devido sua importância na participação no processo de fixação biológica de nitrogênio e na assimilação do nitrogênio, e para as plantas de milho, arroz, tomate, plantas forrageiras e brássicas (MOREIRA et al., 2017).

A deficiência de micronutrientes nos solos brasileiros pode ser explicada pela adoção de práticas intensivas de manejo, como: aumento da produção em solos com baixos níveis desses elementos; uso de fertilizantes com baixa ou zero porcentagem de nutrientes essenciais; plantio de cultivares altamente produtivos com maior exigência em micronutrientes e redução do uso de esterco animais (ANDRADE et al., 2021).

Saber o equilíbrio nutricional das plantas é fundamental para o bom resultado, nesse sentido, o diagnóstico categórico é realizado através da análise do tecido foliar, onde o produtor coleta as folhas e as envia

para laboratórios credenciados (FERREIRA et al., 2003).

Os sintomas de desordens nutricionais são muito semelhantes à deficiência de nitrogênio, e diferem entre as espécies de plantas. Em diversas culturas, a deficiência de Mo parece afetar mais a fase reprodutiva do que a vegetativa. De modo geral, iniciam nas folhas mais velhas ou nas intermediárias que apresentam coloração amarelada; clorose entre as nervuras; murcha das margens das folhas e encurvamento para cima; necrose ao redor das bordas da folha e entre as nervuras; morte prematura das folhas; floração suprimida; e plantas com menor porte (SFREDO, 2010).

De acordo com Meschede et al. (2004), quando o teor de molibdênio está baixo no solo, o elemento é distribuído das folhas para os nódulos, com isso aumenta a deficiência deste micronutriente na planta.

Nas leguminosas os sintomas de deficiência são similares a falta de nitrogênio. Enquanto no milho, a falta de Mo diminui o porte da planta; reduz a área foliar; apresenta folhas amarelas com clorose; encurta os internós; atrasa o estágio de pendoamento, compromete a formação de pólen; e limita o tamanho e a viabilidade do grão (SANTOS et al., 2020).

Nas hortaliças brássicas, o molibdênio é indispensável para o desenvolvimento e sem esse elemento essencial as plantas não completam o ciclo de vida. Sua deficiência provoca o sintoma conhecido como “ponte ou rabo de chicote”, ou seja, as folhas apresentam somente a nervura principal sem o desenvolvimento do limbo foliar (MOREIRA et al., 2017).

A toxicidade causada pelo excesso de molibdênio em plantas é rara, sobretudo em condições de campo, sendo comumente observada em plantas de áreas de minas, porém não apresentam sintomas visíveis. Concentrações acima de 500 mg kg^{-1} de Mo são consideradas tóxicas para a maioria das plantas, podendo ocasionar deformação das folhas, cor amarelo-dourada dos tecidos da parte aérea (AGUILAR, 2017). Nas sementes em germinação, o teor excessivo de Mo prejudica a absorção e translocação de ferro pela planta. Nos bovinos, a ingestão de forrageiras com nível excessivo de Mo causa a molibdenose, cujos sintomas são diarreia e perda de peso (SFREDO; OLIVEIRA, 2010).

CONCLUSÕES

O molibdênio é de extrema importância na agricultura. Apesar de ser exigido em menor quantidade pelas plantas, destaca-se no grupo dos micronutrientes, em virtude da

sua essencialidade. Atua como cofator nas enzimas nitrogenase, redutase do nitrato, oxidase de aldeído, oxidase do sulfato e oxidase da xantina, e no transporte de elétrons durante as reações bioquímicas. Portanto, é de extrema importância conhecer a exigência da cultura quanto a necessidade de molibdênio, a fim de mantê-la em equilíbrio nutricional e com boa produtividade.

REFERÊNCIAS

- AGUILAR, M. A. L. **Doses e época de aplicação de molibdênio no milho-doce**. 2017. 39p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus Jaboticabal. Jaboticabal, 2017. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/152290>. Acesso em: 20 de novembro de 2021.
- ANDRADE, R.; SILVA, S. H. G.; WEINDORF, D. C.; CHAKRABORTY, S.; FARIA, W. M.; GUILHERME, L. R. G.; CURI, N. Micronutrients prediction via pXRF spectrometry in Brazil: Influence of weathering degree. **Geoderma Regional**, Amsterdam, v. 27, n. 1, p. 1-12, 2021.
- ARAÚJO, G. A. A.; TEIXEIRA, A. R.; MIRANDA, G. V.; GALVÃO, J. C. C.; ROCHA, P. R. R. Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de milho-pipoca submetido à aplicação foliar de molibdênio. **Scientia Agraria**, Paraná, v. 11, n. 3, p. 231-237, 2010.
- ASCOLI, A. A.; SORATTO, R. P.; MARUYAMA, W. I. Aplicação foliar de molibdênio, produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijoeiro irrigado. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 377-384, 2008.
- AUBERT, H.; PINTA, M. Trace elements in soils. In: **Developments in Soil Science**. New York, Elsevier, 1977. v. 7. 395p.
- BERGER, P. G.; VIEIRA, C.; ARAÚJO, G. A. A. Efeitos de doses e épocas de aplicação do molibdênio sobre a cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 7, p. 473-480, 1996.
- BROCH, D. L.; RANNO, S. K. **Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura da soja**. Mato Grosso do Sul: Fundação MS, 2010, 12p.
- CARVALHO, I. L.; XAVIER, F. M.; MENEGUZZO, M. R. R.; MARTINS, A. B. N.; MENEGHELLO, G. E.; VILLELA, F. A. Translocação de molibdênio em plântulas de feijão. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 15, n.1, p. 95-103, 2019.
- COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Seja o doutor do seu milho: Nutrição e adubação**. 2.ed. Piracicaba: Potafós, 1995. 9p.
- COMIRAN, A. G. **Aplicação de cobalto e molibdênio na cultura da soja**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Universidade Federal de Mato Grosso, Campus de Sinop. Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais. Sinop – MT. 2019. 38 p.
- CUNHA, J. R. P.; HAAG, H. P. Nutrição mineral do mamoeiro (*Carica papaya* L.) – Marcha de absorção de nutrientes em condições de campo. **Anais**, v. 37, n. 1, p. 631-668, 1980.
- DALL'AGNOL, A.; NOGUEIRA, M. A. **Molibdênio, nutriente essencial na fixação do nitrogênio em soja**. Embrapa Soja, Brasília-DF. 2 p. 2021.
- DAVIES, E. B. Factors affecting molybdenum availability in soils. **Soil Science**, v. 81, n. 3, p. 209-222, 1956.

- DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G.R. Micronutrientes. In: FERNANDES, M.S. **Nutrição Mineral de Plantas**. Viçosa: SBCS, 2006. p. 328-354.
- DIAS, J. A. C. **Enriquecimento de sementes de ervilha com molibdênio, fixação simbiótica de nitrogênio, produção e qualidade de sementes**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Engenharia. Campus de Ilha Solteira. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Ilha Solteira – SP, 2017. 78 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, **Sistemas de Produção 16. Tecnologias de Produção de Soja – Região Central do Brasil 2014**. Londrina – PR, 266p. 2013.
- FAQUIN, V. **Nutrição mineral de plantas**. Curso de pós-graduação “Lato sensu” (especialização) à distância: Solos e meio ambiente. UFLA/FAEPE. Lavras, 2005.
- FERREIRA, A. C. B.; ARAÚJO, G. A. A.; CARDOSO, A. A.; FONTES, P. C. R.; VIERA, C. Diagnose do estado nutricional molibdic do feijoeiro em razão do molibdênio contido na semente e da sua aplicação foliar. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v. 9, n. 4, p. 397-401, 2003.
- FONSECA, F. C. **Utilização de molibdênio via foliar no enriquecimento de sementes de soja**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Uberlândia, Instituto de Ciências Agrárias Programa de Pós-Graduação em Agronomia. Uberlândia – MG, 2006. 33 p.
- JACOB NETO, J; ROSSETTO, C. A. V. Concentração de nutrientes nas sementes: O papel do molibdênio. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.5, n.1, p.171-183, 1998.
- KIRKBY, E. A.; ROMHELD, V. **Micronutrientes na fisiologia de plantas: funções, absorção, mobilidade**. Encarte Técnico. Informações Agronômicas nº 118. International Plant Nutrition Institute. 24 p. 2007.
- LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas: aspectos agronômicos**. 3ª ed. São Paulo: ANDA, 2000. 72 p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres. 251 p., 1980.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres. 638p., 2006.
- MALAVOLTA, E. **O Futuro da Nutrição de Plantas Tendo em Vista Aspectos Agronômicos, Econômicos e Ambientais**. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 121, 2008.
- MALAVOLTA, E.; BOARETTO, A. E.; PAULINO, V. T. Micronutrientes – Uma visão geral. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS/CNPq. 33 p. 1991.
- MARCUSSI, F. F. N.; VILLAS BÔAS, R. L. marcha de absorção de micronutrientes em plantas de pimentão sob fertirrigação em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 8, n. 3, p.203-217, 2003.
- MARTINEZ, E. L; BARRACHINA, A. C.; CARBONELL, F. B.; POZO, M. A.; GRACIA, M. A.; BENEYTO, J. M. Molybdenum uptake, distribution and accumulation in bean plants. **Fresenius Environmental Bulletin**, Berlin, v.5, n. 1, p.73-78, 1996.
- MESCHEDÉ, D. K.; BRACCINI, A. L.; BRACCINI, M. C. L.; SCAPIM, C. A.; SCHUAB, S. R. P. Rendimento, teor de proteínas nas sementes e características agronômicas das plantas de soja em resposta à adubação foliar ao tratamento

- de sementes com molibdênio e cobalto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 2, p. 139-145, 2004.
- MORAES, L. M. F.; LANA, R. M. Q.; MENDES, C.; MENDES, E.; MONTEIRO, A.; ALVES, J. F. Redistribuição de molibdênio aplicado via foliar em diferentes épocas na cultura da soja. **Ciência Agrotecnologia**. v. 32, n. 5, p. 1496-1502, 2008.
- MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras: Ed. UFLA, 2006. 626 p.
- MOREIRA, B. V.; SILVA, J. I. M.; SILVA, S.; FREITAS, W. O.; GONÇALVES, L. D. **Aplicação de doses de molibdênio em mudas de repolho (*Brassica oleracea* L. var. *capitata*)**. IX Semana de Ciência e Tecnologia IFMG - Campus Bambuí IX Jornada Científica. Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), campus Bambuí – MG. 5 p., 2017.
- OLIVEIRA, A. M. G.; SOUZA, L. F. S.; RAIJ, B.V.; MAGALHÃES, A. F. J.; BERNARDI, A. C. C. **Nutrição, Calagem e Adubação do Mamoeiro Irrigado**. Circular Técnica 69, Embrapa. Cruz das Almas-BA, 2004, 10p.
- OLIVEIRA, C. O.; PINTO, C. C.; GARCIA, A.; BETTIOL, J. V. T.; SÁ, M. E.; LAZARINI, E. Produção de sementes de soja enriquecidas com molibdênio. **Produção Vegetal. Ceres**, Viçosa, v. 64, n. 3, p. 282-290, 2017.
- PEREIRA, E. A. C.; BRANDÃO, R. P.; RODRIGUES, R. B. R. L. Importância do molibdênio para as hortaliças. **Revista Campo & Negócios**, Uberlândia, v. 1, n. 1, p. 1-10, 2016. Disponível em: <https://revistacampoenegocios.com.br/importancia-do-molibdenio-para-as-hortalias/>. Acesso em: 20 de novembro de 2021.
- PESSOA, A. C. S.; RIBEIRO, A. C.; CHAGAS, J. M.; CASSINI, S. T. A. Concentração foliar de molibdênio e exportação de nutrientes pelo feijoeiro “ouro negro” em resposta à adubação foliar com molibdênio. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 24, n. 1, p. 217- 224, 2000.
- PESTANA, D. E.; SIMONETTI, A. P. M. M.; ROSA, H. A.; ASSMANN, E. J. **Uso de molibdênio na cultura do milho**. Anais do 12º Encontro Científico Cultural Interinstitucional. Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz – Cascavel - PR. 5 p. 2014.
- PEREZ, A. A. G.; SORATTO, R. P.; MANZATTO, N. P.; SOUZA, E. F. C. Extração e exportação de nutrientes pelo feijoeiro adubado com nitrogênio, em diferentes tempos de implantação do sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 37, n. 1, p. 1276-1287, 2013.
- PRADO, M. R. **Nutrição de plantas**. Botucatu: Editora Unesp, 2021, 291 p.
- RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420p.
- RANA, M. S.; BHANTANA, P.; IMRAN, M.; SALEEM, M. H.; MOUSSA, M. G.; KHAN, Z.; HU, C. Molybdenum potential vital role in plants metabolism for optimizing the growth and development. **Annals of Environmental Science and Toxicology**, v. 4, n. 1, p. 32-044, 2020.
- ROCHA, P. R. R.; ARAÚJO, G. A. A.; CARNEIRO, J. E. S.; CECON, P. R.; LIMA, T. C. Adubação molíbdica na cultura do feijão nos sistemas de plantio direto e convencional. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 24, n. 2, p. 9-17, 2011.
- SANTOS, M. C.; JUNIOR, L.A.L.; BUSO, W.H.D. Cultivo de milho com diferentes doses e épocas de aplicação de molibdênio. **Brazilian Journal of**

- Development.** Curitiba, v. 6, n. 2, p. 5393-5402, 2020.
- SFREDO, G. J. **Soja no Brasil:** calagem, adubação e nutrição mineral. Londrina – PR. Embrapa Soja, 2010, 148p.
- SFREDO, G. J.; OLIVEIRA, M. C. N. **Soja: Molibdênio e Cobalto.** Londrina – PR. Embrapa Soja, 2010, 36p.
- SILVA, L. S.; MARQUES JÚNIOR, J.; BARRÓN, V.; GOMES, R. P.; TEIXEIRA, D. D. B.; SIQUEIRA, D. S.; VASCONCELOS, V. Spatial variability of iron oxides in soils from Brazilian sandstone and basalt. **Catena**, Berlim, v. 185, n. 2, p. 1-10, 2020.
- SIMÃO, E. P.; RESENDE, A.V.; GONTIJO NETO, M. M.; BORGHI, E.; MARTINS, D. C.; VANIN, A. Demanda de nutrientes pelo milho safrinha em função da época de semeadura e adubação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v.16, n.3, p. 481-494, 2017.
- SINHA, M. K. Organo-metallic phosphates. I. Interaction of phosphorus compounds with humic substances. **Plant and Soil**, The Hague, v. 35, n. 1, p. 471-81, 1971.
- SOUZA, F. R.; FAQUIN, V.; CARVALHO, R.; ROGÉRIO, P. Atributos químicos do solo influenciados pela substituição do carbonato por silicato de cálcio. **Revista Brasileira de Ciências do solo**, Viçosa, v. 32, n. 4, p. 1-10, 2008.
- VASCONCELLOS, C. A.; RODRIGUES, J. A. S.; PITTA, G. V. E.; SANTOS, F. G. **Extração e exportação de nutrientes pela cultura do sorgo forrageiro.** In: Congresso Nacional de milho e sorgo, Ed. 23, 2000. Uberlândia-MG: ABMS, 2000. p.5