

Molibdênio no sistema solo-planta: dinâmica, funções fisiológicas e implicações para a nutrição de plantas

Molybdenum in the soil–plant system: dynamics, physiological functions and implications for plant nutrition

Bárbara Vieira dos Santos¹, Ellen Jardyelle de Carvalho da Conceição¹, Flavielli Porto da Silva¹, Milleny Nogueira Serafim¹, Arielle Gonçalves Abdala¹, Ane Gabriele Vaz Souza², Flivia Fernandes de Jesus Souza¹, Valeska Cristina Souza Silva de Assis¹, Mariana Pina da Silva Berti¹⁺

Universidade Estadual de Goiás
Universidade Estadual Paulista

Resumo. O molibdênio (Mo) é um micronutriente essencial ao metabolismo vegetal, atuando principalmente como cofator de enzimas envolvidas em reações redox, sendo diretamente ligado aos processos relacionados ao metabolismo do nitrogênio. Sua presença é fundamental para a atividade da nitrogenase responsável pela fixação biológica do nitrogênio (FBN) e da redutase do nitrato, enzimas que participam da assimilação do nitrato (NO_3^-) e da conversão de compostos nitrogenados em formas assimiláveis pelas plantas. A disponibilidade do Mo no solo depende de fatores como pH, teor de matéria orgânica, presença de óxidos de ferro e alumínio e interação com ânions competitivos, como o sulfato (SO_4^{2-}) e o fosfato (HPO_4^{2-}). Sua absorção ocorre predominantemente na forma de molibdato (MoO_4^{2-}), via fluxo de massa e, possivelmente, por transporte ativo. Apesar de ser exigido em pequenas quantidades, o Mo exerce grande influência sobre a produtividade vegetal, especialmente em leguminosas. A deficiência do elemento causa acúmulo de nitrato nas folhas, deformações e cloroses, refletindo negativamente na assimilação do nitrogênio, no vigor e na produtividade das culturas. Diante disso, a adequada compreensão da dinâmica do molibdênio é essencial para o manejo nutricional equilibrado, contribuindo para a eficiência fisiológica, o manejo racional da adubação e o desenvolvimento das culturas agrícolas.

Palavras-chave: Fixação Biológica; Metabolismo do Nitrogênio; Molibdato; Redutase de Nitrato.

Abstract. Molybdenum (Mo) is an essential micronutrient for plant metabolism, acting primarily as a cofactor for enzymes involved in redox reactions and being directly linked to processes related to nitrogen metabolism. Its presence is fundamental for the activity of nitrogenase, responsible for biological nitrogen fixation (BNF), and nitrate reductase, enzymes that participate in nitrate (NO_3^-) assimilation and the conversion of nitrogen compounds into forms that plants can utilize. The availability of Mo in the soil depends on factors such as pH, organic matter content, the presence of iron and aluminum oxides, and interaction with competitive anions such as sulfate (SO_4^{2-}) and phosphate (HPO_4^{2-}). Its uptake occurs predominantly as molybdate (MoO_4^{2-}), via mass flow and possibly through active transport. Although required in small amounts, Mo greatly influences plant productivity, especially in legumes. Molybdenum deficiency causes nitrate accumulation in leaves, deformations, and chlorosis, negatively affecting nitrogen assimilation, plant vigor, and crop productivity. Therefore, a proper understanding of molybdenum dynamics is essential for balanced nutritional management, contributing to physiological efficiency, rational fertilization management, and the development of agricultural crops.

Keywords: Biological Fixation, Nitrogen Metabolism, Molybdate, Nitrate Reductase

Contextualização e análise

Os micronutrientes são requeridos em pequenas quantidades pelas plantas e ocorrem em

baixos teores no solo de acordo com o grau de intemperismo e matéria orgânica presente, são ativadores ou componentes estruturais de várias

enzimas e quando fornecidos de forma adequada podem gerar melhor desenvolvimento na germinação e vigor das sementes (SILVEIRA *et al.*, 2021)

O molibdênio é um elemento essencial exigido em baixas quantidades pelas plantas, por isso é classificado como um micronutriente, sendo assim, a sua principal função está relacionada com reações de oxirredução, em que ele atua como um cofator (MANUEL *et al.*, 2018).

O elemento tem participação em diversas reações no metabolismo das plantas como cofator das enzimas nitrogenase, redutase do nitrato, oxidase de aldeído, oxidase do sulfato e oxidase da xantina, em que ele tem como função atuar no transporte de elétrons durante as reações bioquímicas, tendo papel direto na assimilação do nitrogênio, assim convertendo o nitrato à nitrito (MALAVOLTA, 2006; MANUEL *et al.*, 2018).

Mesmo diante da importância do molibdênio nas funções metabólicas dos vegetais, ele ainda é um nutriente negligenciado em plantas não fixadoras de nitrogênio. Isso decorre por conta dos estudos limitados acerca da sua deficiência, devido à sua estreita faixa de suficiência quando comparado aos outros micronutrientes.

Diante o exposto, esta revisão tem como objetivo abordar a dinâmica do elemento no sistema solo-planta, mecanismo de absorção, transporte e redistribuição, a exigência do molibdênio nas principais culturas agrícolas, além da participação no metabolismo vegetal, marcha de absorção e os sintomas de deficiências e excessos nutricionais.

Dinâmica do nutriente no sistema solo-planta

O molibdênio pode ocorrer no solo em diferentes formas químicas e níveis de disponibilidade. Uma fração do elemento encontra-se indisponível, incorporada à estrutura cristalina de minerais primários e minerais secundários. Outra parte pode estar presente na forma disponível parcialmente ou trocável, adsorvida às partículas de argila, especialmente associada a óxidos de ferro (Fe) e alumínio (Al), predominantemente na forma do ânion molibdato (MoO_4^{2-}). Além disso, o molibdênio pode estar ligado à matéria orgânica ou presente na solução do solo em forma solúvel, sendo sua disponibilidade influenciada principalmente pelo pH e pela quantidade de fósforo disponível (DECHEN; NACHTIGALL, 2006; SINHA, 1971).

A disponibilidade de molibdênio no solo é condicionada por diversos fatores edáficos, destacando-se o teor de matéria orgânica, o pH, a concentração de fósforo disponível e pela textura do solo (BROCH; RANNO, 2010). No entanto, a relação entre o molibdênio e a matéria orgânica apresenta resultados divergentes na literatura. Alguns estudos relatam menores teores do micronutriente em solos com elevado conteúdo de matéria orgânica, enquanto outros indicam associação positiva entre o teor de molibdênio e a

matéria orgânica do solo, sugerindo que compostos orgânicos podem atuar tanto na retenção quanto na disponibilização desse elemento (AUBERT; PINTA, 1977; DAVIES, 1956).

Entre os fatores que regulam a disponibilidade de molibdênio, o pH do solo é considerado um dos mais relevantes. O aumento do pH promove o deslocamento do molibdato previamente adsorvido nos sítios de troca devido à competição com íons hidroxila (OH^-), resultando em maior concentração do nutriente na solução do solo. Dessa forma, observa-se incremento da atividade do molibdato com o aumento do pH, apresentando comportamento aproximadamente linear até valores próximos de pH 8,0 (SOUZA *et al.*, 2008). Estima-se que, para cada unidade de acréscimo no pH do solo a solubilidade do molibdênio possa aumentar cerca de cem vezes (LOPES; GUILHERME, 2007; PRADO, 2008).

O aumento do pH também favorece a dessorção do molibdato das superfícies de adsorção do solo, resultando em maior fitodisponibilidade do nutriente. No ambiente edáfico, o molibdênio ocorre originalmente em minerais primários, como a molibdenita (MoS_2), que sofre processos de oxidação relativamente lentos, sendo convertida em molibdato (MoO_4^{2-}). Após sua dissolução na solução do solo, esse ânion pode ser novamente adsorvido por partículas de argila, óxidos de ferro, alumínio e manganês, além de interagir com os compostos orgânicos e carboidratos presentes na matriz do solo (RAIJ, 2011).

Os baixos teores nas reservas naturais de molibdênio observados em determinados solos podem estar relacionados a diferentes fatores, entre os quais se destacam elevada acidez (pH inferior a 5,5), textura arenosa, aplicação excessiva de fertilizantes contendo sulfato, altos níveis de cobre, exportação do nutriente pela colheita de sementes, aumento da produtividade agrícola e ausência de práticas adequadas de adubação molibídica (ASCOLI *et al.*, 2008).

Em regiões tropicais, caracterizadas pelo predomínio de solos ácidos e altamente intemperizados, a adsorção do molibdênio tende a ser intensificada, o que reduz sua disponibilidade para as plantas. Nessas condições, a prática da calagem frequentemente é suficiente para elevar o pH do solo e aumentar a disponibilidade do micronutriente. Entretanto, em determinadas situações, o fornecimento de fertilizantes contendo molibdênio pode ser necessário para garantir o adequado suprimento do elemento e, conseqüentemente, favorecer o desempenho produtivo das culturas (FONSECA, 2006).

O molibdênio é absorvido pelas plantas predominantemente na forma do ânion molibdato (MoO_4^{2-}), sendo sua absorção proporcional à concentração presente na solução do solo. No entanto, esse processo pode ser influenciado por interações competitivas com outros ânions,

especialmente o sulfato (SO_4^{2-}), o qual pode reduzir a absorção do molibdato pelas raízes (REISENAUER, 1973).

Há indícios de que a absorção do molibdênio ocorre por mecanismos metabólicos dependentes de energia, sugerindo a participação de sistemas de transporte ativo. Apesar disso, os mecanismos envolvidos no transporte e na redistribuição desse micronutriente nas plantas ainda não são completamente compreendidos (TORQUATO, 2009). Estudos indicam que o molibdênio pode ser transportado no xilema na forma de molibdato livre (MoO_4^{2-}), associado a aminoácidos ou ainda complexado com açúcares (TIFFIN, 1972).

As plantas necessitam de quantidades relativamente pequenas de molibdênio para completar seu ciclo de desenvolvimento. Em geral, concentrações inferiores a 1 mg kg^{-1} de Mo na matéria seca vegetal são suficientes para atender às exigências nutricionais da maioria das culturas, o que corresponde aproximadamente a 40 a 50 g ha^{-1} do micronutriente (MALAVOLTA, 1980).

As concentrações de molibdênio nos tecidos vegetais podem variar amplamente, situando-se entre $0,01$ e 500 mg kg^{-1} de matéria seca, dependendo da espécie vegetal e do órgão analisado. De modo geral, concentrações foliares entre $0,6$ e 10 mg kg^{-1} são consideradas adequadas para o crescimento normal das plantas, enquanto valores entre $0,01$ e $0,6 \text{ mg kg}^{-1}$ indicam condições de deficiência nutricional (MALAVOLTA et al., 1989; PAIS; JONES JUNIOR, 1996).

Grande parte do molibdênio presente nas plantas está associada à enzima nitrato redutase, localizada principalmente nas raízes e nos colmos. Essa enzima catalisa a redução do nitrato (NO_3^-) a nitrito (NO_2^-), etapa fundamental do processo de assimilação do nitrogênio. Nas plantas espermatófitas, a nitrato redutase é classificada como uma molibdoflavoproteína solúvel, na qual o molibdênio encontra-se ligado de forma reversível. Em condições de deficiência de molibdênio, ocorre acúmulo de nitrato nos tecidos vegetais, resultando em sintomas semelhantes aos observados na deficiência de nitrogênio e ocasionando prejuízos ao crescimento e à produtividade das plantas (BITTNER, 2014; FERNANDES, 2006).

Em plantas com nódulos radiculares capazes de realizar fixação biológica de nitrogênio, o molibdênio também exerce papel essencial. Nessas estruturas, o elemento encontra-se principalmente associado às enzimas nitrato redutase e nitrogenase presentes nos bacteroides nodulares. Embora microrganismos possuam outras enzimas dependentes de molibdênio, não há evidências consistentes da presença dessas enzimas adicionais em plantas superiores (DECHEN; NACHTIGALL, 2007).

A enzima nitrogenase constitui componente fundamental de bactérias simbióticas e de microrganismos do grupo dos actinomicetos, sendo

responsável pela redução do nitrogênio atmosférico (N_2) a formas assimiláveis pelas plantas. Já a nitrato redutase representa a principal enzima dependente de molibdênio nas plantas superiores. Dessa forma, as plantas podem crescer mesmo na ausência desse micronutriente quando o nitrogênio é fornecido predominantemente na forma de amônio (NH_4^+), uma vez que, na ausência de molibdênio, a conversão do nitrato (NO_3^-) em amônio fica comprometida (TORQUATO, 2009).

Além de sua participação no metabolismo do nitrogênio, estudos recentes indicam que o molibdênio pode influenciar processos relacionados à disponibilidade e assimilação de fósforo no sistema solo-planta. A deficiência de fósforo é uma limitação frequente à produção agrícola, evidências recentes indicam que a aplicação de molibdênio pode favorecer a disponibilidade e a absorção de fósforo pelas plantas por meio da modulação de processos bioquímicos e biológicos na rizosfera (RANA et al., 2020b). Esse efeito inclui aumento da atividade de fosfatases, maior biomassa microbiana associada ao fósforo e maior expressão de genes relacionados à assimilação desse nutriente, resultando em incremento da biomassa vegetal e melhoria do sistema radicular (RANA et al., 2020c).

Absorção, transporte e redistribuição

O molibdênio (Mo) é absorvido pelas plantas predominantemente na forma do ânion molibdato (MoO_4^{2-}), sendo sua absorção diretamente proporcional à concentração presente na solução do solo. Entretanto, esse processo pode ser reduzido pela competição com outros ânions, especialmente o sulfato (SO_4^{2-}), que pode interferir na absorção do molibdato pelas raízes (REISENAUER, 1973).

Embora ainda não existam evidências experimentais completamente conclusivas, admite-se que a absorção de molibdênio pelas plantas ocorra por meio de mecanismos metabólicos dependentes de energia, sugerindo a participação de sistemas de transporte ativo. De modo geral, considera-se que o Mo apresenta mobilidade intermediária nos tecidos vegetais; entretanto, os mecanismos envolvidos em seu transporte interno ainda não são totalmente compreendidos. Evidências indicam que o molibdênio pode ser transportado no xilema na forma de molibdato livre (MoO_4^{2-}), como complexos do tipo Mo-S associados a aminoácidos ou ainda como molibdato complexado com açúcares (KAISER et al, 2005; TIFFIN, 1972).

As plantas podem absorver quantidades relativamente elevadas de molibdato sem apresentar sintomas de toxicidade. Isso ocorre porque o MoO_4^{2-} , por se comportar como um ácido fraco, pode formar complexos polianiónicos com o fósforo (P), originando compostos como o fosfomolibdato. Dessa forma, concentrações mais elevadas do nutriente podem ser parcialmente

sequestradas nos tecidos vegetais sob essa forma complexada.

No solo, o molibdênio apresenta relativa mobilidade e é absorvido pelas plantas principalmente como molibdato (MoO_4^{2-}), espécie aniônica presente na solução do solo. O suprimento do nutriente até a superfície radicular ocorre predominantemente por fluxo de massa, enquanto o transporte para as partes aéreas da planta se dá pelo xilema. Após sua assimilação, o molibdênio pode ser redistribuído dos tecidos mais velhos para os mais jovens, contribuindo para o suprimento do nutriente em órgãos em crescimento (RANA et al., 2020a). Quando aplicado via foliar, o molibdênio apresenta mobilidade parcial dentro da planta (FONSECA, 2006).

O molibdato (MoO_4^{2-}) apresenta propriedades químicas semelhantes às de outros ânions presentes na solução do solo, como o sulfato (SO_4^{2-}) e o hidrogenofosfato (HPO_4^{2-}). Essa similaridade estrutural pode influenciar tanto a disponibilidade do molibdênio no solo quanto os mecanismos envolvidos em sua absorção pelas plantas, em razão de possíveis interações competitivas entre esses ânions nos sistemas de transporte radicular (JACOB NETO; ROSSETO, 1998).

Participação do nutriente no metabolismo vegetal

O molibdênio (Mo) exerce papel fundamental no metabolismo vegetal por integrar a estrutura de enzimas essenciais envolvidas no metabolismo do nitrogênio. Entre essas enzimas destacam-se a nitrogenase, responsável pela fixação biológica do nitrogênio atmosférico nos nódulos radiculares, e a nitrato redutase, que atua na redução do nitrato absorvido pelas plantas, tornando-o disponível para posterior assimilação (HAFEEZ et al., 2013).

O suprimento adequado de molibdênio pode favorecer o acúmulo de nitrogênio na parte aérea das plantas em razão do aumento da eficiência da fixação biológica do nitrogênio (FBN). Esse processo contribui para maior produção de biomassa vegetal, uma vez que o nitrogênio é um dos nutrientes mais diretamente associados ao crescimento e à formação de tecidos vegetais. Dessa forma, o aumento da eficiência da FBN, promovido pela disponibilidade de Mo, pode resultar em maior produção de biomassa nas culturas (RIBEIRO et al., 2025).

A principal função fisiológica do molibdênio nas plantas está relacionada ao metabolismo do nitrogênio, participando de processos como a fixação biológica de nitrogênio, mediada pela nitrogenase, e a assimilação do nitrato por meio da ação da enzima nitrato redutase (DECHEN; NACHTIGALL, 2006). Além dessas enzimas, o molibdênio também integra a estrutura de outras enzimas importantes, como xantina oxidase-desidrogenase, sulfito oxidase e aldeído oxidase, responsáveis por catalisar diferentes reações

bioquímicas no metabolismo vegetal (BITTNER, 2014).

A atuação do molibdênio nessas enzimas está diretamente associada ao transporte de elétrons durante as reações metabólicas. A participação do Mo na oxidação do sulfito, catalisada pela enzima sulfito oxidase, é mais bem documentada em microrganismos do que em plantas superiores. Ainda assim, o elemento é considerado componente essencial em diversas reações metabólicas das plantas, principalmente por integrar enzimas relacionadas ao metabolismo do nitrogênio, como a nitrogenase e a nitrato redutase (FONSECA, 2006).

Entre as enzimas dependentes de molibdênio, destaca-se a nitrogenase, responsável pela fixação biológica do nitrogênio atmosférico em sistemas simbióticos entre plantas e microrganismos. Nesse processo, o molibdênio integra o complexo enzimático conhecido como Mo-nitrogenase, considerado o principal sistema catalítico envolvido na conversão do N_2 atmosférico em formas assimiláveis pelas plantas (YU et al., 2021). Dessa forma, a fixação biológica de nitrogênio no solo está diretamente relacionada ao ciclo do molibdênio mediado por microrganismos, tornando o suprimento adequado desse micronutriente essencial para a ativação da nitrogenase e para a eficiência do processo de fixação de nitrogênio. Como consequência, a disponibilidade adequada de molibdênio pode favorecer o desempenho fisiológico das culturas e contribuir para o aumento da produtividade agrícola (ANDRADE et al., 2023).

Além disso, nesse processo, ocorre a quebra da ligação tripla do nitrogênio atmosférico (N_2) e sua conversão em formas assimiláveis pelas plantas, principalmente amônio (NH_4^+) (DALL'AGNOL; NOGUEIRA, 2021). Estruturalmente, essa enzima é composta por duas metaloproteínas: a proteína ferro-molibdênio (MoFe) e a ferro-proteína (Fe) (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). O molibdênio atua diretamente no processo de transferência de elétrons necessários para a redução do nitrogênio atmosférico, enquanto o ferro participa como mediador no transporte desses elétrons ao longo da cadeia catalítica (KIRKBY; RÖMHELD, 2007).

Outra enzima fundamental associada ao molibdênio é a nitrato redutase, cuja atuação ocorre em etapas distintas do processo de assimilação do nitrato. Inicialmente, essa enzima catalisa a redução do nitrato (NO_3^-) a nitrito (NO_2^-), reação que envolve a participação de cofatores como flavinas e do próprio molibdênio no sítio catalítico da enzima (SFREDO; OLIVEIRA, 2010). Durante essa reação, ocorre a transferência de elétrons do centro metálico contendo molibdênio para o nitrato, possibilitando sua redução (KIRKBY; RÖMHELD, 2007). Posteriormente, o nitrito formado é reduzido a amônia (NH_3), que será incorporada em compostos orgânicos, originando aminoácidos e

proteínas essenciais ao metabolismo vegetal (FAQUIN, 2005).

Além de sua participação direta no metabolismo do nitrogênio, o molibdênio também está envolvido em outros processos fisiológicos nas plantas, incluindo a atividade respiratória, a síntese de ácido ascórbico, o metabolismo do enxofre, a formação de grãos de pólen e o crescimento e desenvolvimento vegetal (PRADO, 2021).

Exigências dos nutrientes nas principais culturas

A exigência nutricional das culturas refere-se às quantidades de macro e micronutrientes necessárias para que as plantas completem seu

ciclo de desenvolvimento e atendam às suas demandas fisiológicas. Esses nutrientes podem ser obtidos a partir do solo, de fertilizantes aplicados ou do ar, dependendo do elemento considerado. Dessa forma, a necessidade nutricional das plantas é frequentemente expressa com base na concentração dos nutrientes presentes no material vegetal ou no total de matéria seca produzida. A variação na concentração e no acúmulo desses nutrientes ocorre em função da espécie vegetal, uma vez que cada cultura apresenta padrões distintos de absorção e utilização de nutrientes, conforme ilustrado na Figura 1 (FAQUIN, 2005).

O molibdênio é o micronutriente exigido em menor quantidade, com concentrações adequadas entre 0,6 e 10 mg kg⁻¹ de matéria seca para crescimento normal.

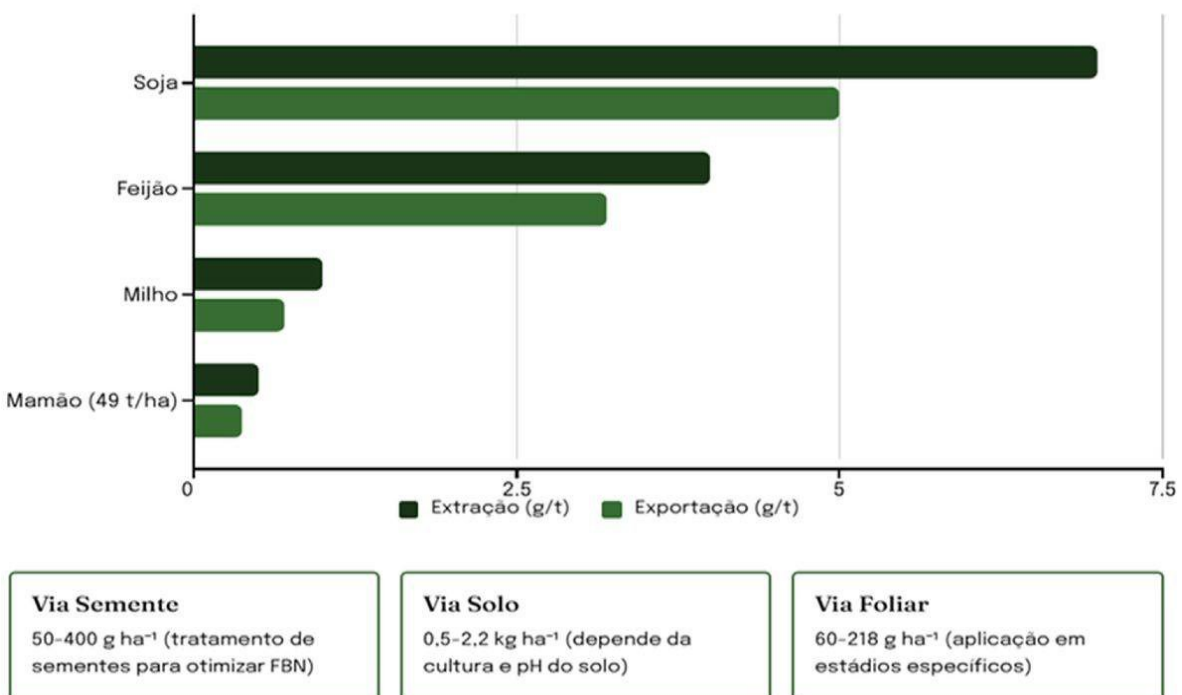


Figura 1. Necessidade do molibdênio as culturas de soja, feijão, milho e mamão

Fonte: Autores (2025).

O molibdênio é considerado o micronutriente requerido em menor quantidade pelas plantas. De modo geral, a concentração desse elemento nos tecidos vegetais varia entre 0,1 e 10 mg kg⁻¹ de matéria seca (MARTINEZ et al., 1996). Segundo Dechen e Nachtigall (2006), concentrações situadas entre 0,6 e 10 mg kg⁻¹ de matéria seca são consideradas adequadas para o crescimento e o desenvolvimento da maioria das espécies vegetais.

O fornecimento de molibdênio às plantas pode ser realizado por diferentes métodos de aplicação, destacando-se principalmente a aplicação via tratamento de sementes, via solo e via foliar. Quando aplicado no tratamento de sementes, as doses geralmente variam entre 50 e 400 g ha⁻¹.

Na aplicação via solo, as doses recomendadas situam-se entre 0,5 e 2,2 kg ha⁻¹, dependendo da cultura e das condições de pH do solo. Já na aplicação foliar, as doses normalmente variam entre 60 e 218 mg ha⁻¹. O fornecimento do micronutriente via sementes é frequentemente utilizado com o objetivo de favorecer a fixação biológica de nitrogênio, especialmente em culturas leguminosas (COMIRAN, 2019).

A determinação da extração e da exportação de nutrientes pelas culturas é fundamental para o manejo adequado da fertilidade do solo e para o planejamento da adubação. Essas informações permitem atender às exigências nutricionais das plantas, otimizar os custos com

fertilizantes e manter níveis adequados de produtividade agrícola (PEREZ et al., 2013).

A extração de nutrientes corresponde à quantidade total de elementos absorvidos pelas plantas durante seu desenvolvimento, incluindo aqueles que permanecem nos resíduos culturais após a colheita. Esse processo depende da produtividade alcançada e do acúmulo de nutrientes tanto nos grãos quanto nas demais partes da planta, sendo influenciado por fatores ambientais e genéticos (VASCONCELLOS et al., 2000).

Por outro lado, a exportação de nutrientes refere-se à fração removida da área cultivada por meio da colheita, representando a quantidade de nutrientes contida nos grãos ou na biomassa destinada à remoção da lavoura. Quando apenas os grãos são colhidos, a exportação de nutrientes tende a ser menor do que em sistemas de produção nos quais a planta inteira é removida, como ocorre na produção de silagem (SIMÃO et al., 2017).

A extração de molibdênio por culturas hortícolas é geralmente bastante reduzida. No entanto, apesar das pequenas quantidades requeridas, esse micronutriente desempenha papel essencial no metabolismo dessas plantas, sendo tão importante quanto os demais nutrientes. Entre as hortaliças, espécies como ervilha, alho e feijão-vagem apresentam maior capacidade de absorção de molibdênio.

O molibdênio também exerce papel relevante no aumento da produtividade de leguminosas, principalmente por integrar a estrutura das enzimas nitrogenase e nitrato redutase, responsáveis pela fixação biológica e pela assimilação do nitrogênio. Na cultura da soja, por exemplo, estima-se que aproximadamente 7 mg de molibdênio sejam extraídos por tonelada de grãos produzidos, sendo cerca de 71% desse total exportado pela colheita (EMBRAPA, 2013).

Resultados obtidos em estudo conduzido por Pessoa et al. (2000) com feijoeiro indicaram que, para a produção de uma tonelada de grãos, são extraídos aproximadamente 4 g de molibdênio pela parte aérea e pelo sistema radicular da planta, dos quais cerca de 3,2 g são exportados por meio dos grãos colhidos.

Embora seja requerido em pequenas quantidades, diversos estudos relatam respostas positivas à aplicação de molibdênio na cultura do milho (PEREIRA, 2010). Para a produção de uma tonelada de grãos, estima-se que a cultura do milho extraia aproximadamente 1 g de molibdênio do solo e exporte cerca de 0,7 g desse nutriente por meio da colheita (COELHO; FRANÇA, 1995).

Na cultura do mamoeiro, o molibdênio é considerado o micronutriente menos absorvido pela planta; entretanto, apresenta elevada proporção de acúmulo em flores e frutos, correspondendo a cerca de 36% do total absorvido. Estudos indicam que uma produtividade anual de aproximadamente 49 t ha⁻¹ de frutos pode resultar na exportação de cerca

de 0,38 g ha⁻¹ de molibdênio (OLIVEIRA et al., 2004).

Por fim, é importante destacar que a reposição de nutrientes no solo não deve considerar apenas as quantidades extraídas pelas culturas. A adubação baseada exclusivamente na reposição dos nutrientes removidos pode não ser suficiente para manter ou melhorar a fertilidade do solo. Assim, a recomendação de fertilizantes deve levar em consideração a produtividade esperada e a quantidade de nutrientes exportados pelas culturas, permitindo um manejo mais eficiente da fertilidade do solo (EMBRAPA, 2013).

Marcha de absorção do nutriente na planta

A marcha de absorção de nutrientes descreve a dinâmica temporal de acúmulo dos elementos minerais ao longo do ciclo de desenvolvimento das plantas, permitindo identificar os períodos de maior demanda nutricional. No caso do molibdênio, a absorção varia conforme a espécie vegetal e o estágio fenológico, refletindo principalmente sua participação no metabolismo do nitrogênio (MARSCHNER, 2011).

Na cultura da soja, a absorção de molibdênio ocorre de forma relativamente lenta durante os primeiros estádios de desenvolvimento, até aproximadamente 30 dias após a emergência. A partir desse período, observa-se aumento significativo na taxa de absorção, com pico entre 60 e 90 dias após a emergência (Figura 2). Diferentemente de outros micronutrientes, a absorção de Mo permanece elevada durante a fase reprodutiva, entre 90 e 120 dias, possivelmente em função da elevada atividade da enzima nitrogenase associada à fixação biológica do nitrogênio nesse período do ciclo da cultura (PRADO, 2021).

Estudos conduzidos por Sfredo e Oliveira (2010) indicam que mais de 58% do molibdênio requerido pela cultura da soja é absorvido nos primeiros 45 dias após a emergência. Em razão dessa elevada demanda inicial, os autores destacam a importância do fornecimento do nutriente nos estádios vegetativos iniciais, especialmente entre V2 e V4. Resultados apresentados por Comiran (2019) demonstraram que a aplicação foliar de molibdênio no estágio reprodutivo R2 proporcionou incremento no número de vagens e no número de grãos por vagem.

Para a cultura da soja, a dose de molibdênio recomendada tanto para o tratamento de sementes quanto para aplicações foliares geralmente varia entre 12 e 25 g ha⁻¹ (SFREDO; OLIVEIRA, 2010). O fornecimento desse micronutriente é particularmente importante nas fases iniciais de desenvolvimento da cultura, pois o molibdênio atua como componente estrutural da enzima nitrogenase. Dessa forma, a adequada disponibilidade de Mo favorece a nodulação e aumenta a eficiência da assimilação de nitrogênio, contribuindo para maior acúmulo desse nutriente nos tecidos vegetais e melhor desempenho

produtivo da cultura. Em condições de solos ácidos ou com baixos teores naturais de molibdênio, a suplementação do nutriente pode resultar em incrementos significativos na atividade da FBN e no rendimento de grãos (BITTNER, 2014; HUNGRIA; NOGUEIRA; ARAÚJO, 2015).

Na cultura do feijoeiro, Berger et al. (1996) observaram que o período de maior absorção de molibdênio ocorre entre 14 e 28 dias após a emergência das plantas. Nesse caso, a aplicação

foliar do micronutriente em doses entre 80 e 90 g ha⁻¹ mostrou-se adequada para atender à demanda nutricional da cultura. Resultados semelhantes foram relatados por Rocha et al. (2011), que aplicaram molibdênio via foliar em diferentes doses aos 25 dias após a emergência do feijoeiro, verificando aumento linear da concentração do nutriente nas folhas durante o período de florescimento.

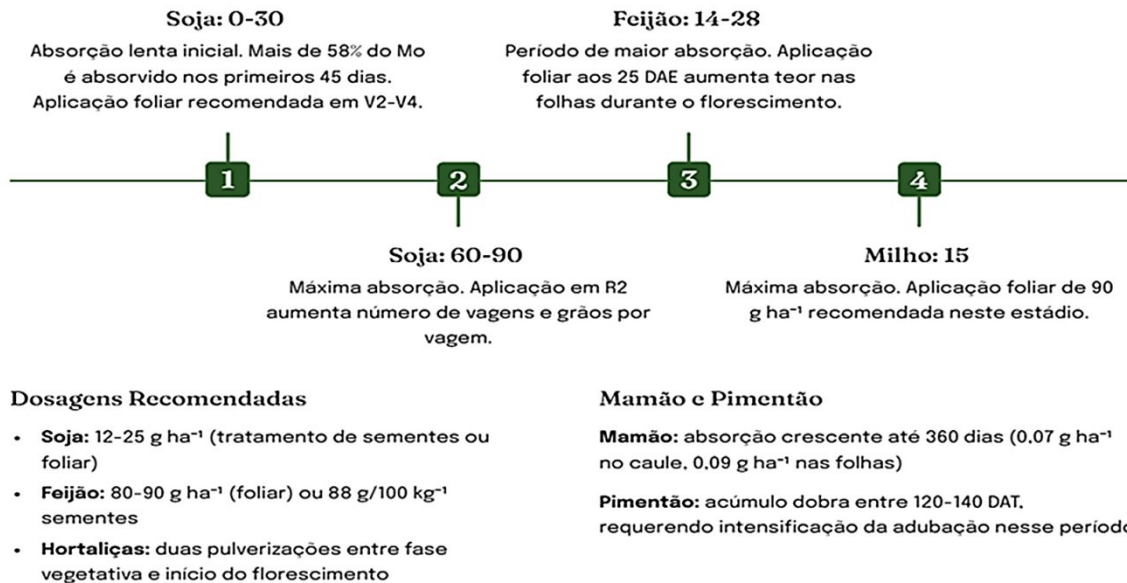


Figura 3. Marcha de absorção no milho e feijão.
Fonte: Autores (2025).

Além da aplicação foliar, o fornecimento de molibdênio via tratamento de sementes também tem apresentado resultados promissores para o feijoeiro. Estudos indicam que doses de até 88 g de Mo por 100 kg de sementes podem ser utilizadas sem causar prejuízos à qualidade fisiológica das sementes. Nessas condições, observou-se aumento linear na concentração de molibdênio nas plântulas à medida que se elevaram as doses aplicadas nas sementes (CARVALHO et al., 2019).

Na cultura do milho, a absorção máxima de molibdênio ocorre aproximadamente aos 15 dias após a emergência das plantas. Nesse período, a aplicação foliar do micronutriente, em doses próximas de 90 g ha⁻¹, tem sido recomendada em função dos resultados positivos observados em estudos experimentais (ARAÚJO et al., 2010). Entretanto, diversos trabalhos relatam baixa resposta da cultura do milho à adubação com molibdênio, o que pode ser atribuído à presença de teores adequados do nutriente no solo ou às reservas presentes nas sementes. De acordo com Pestana et al. (2014), concentrações de aproximadamente 0,08 mg kg⁻¹ de Mo nas sementes podem ser suficientes para suprir as necessidades iniciais da cultura.

Na cultura do mamoeiro, estudos sobre a marcha de absorção de nutrientes indicam que o acúmulo de molibdênio apresenta dinâmica distinta entre os diferentes órgãos da planta. Segundo Cunha e Haag (1980), o acúmulo desse micronutriente no caule aumenta gradativamente ao longo do desenvolvimento, atingindo cerca de 0,07 g ha⁻¹ aos 360 dias após o plantio. Nas folhas, a absorção ocorre de forma mais intensa até aproximadamente 270 dias, alcançando cerca de 0,09 g ha⁻¹, seguido por um período de estabilização e posterior redução. Já nas flores e frutos, o acúmulo de molibdênio aumenta progressivamente, atingindo aproximadamente 0,08 g ha⁻¹ aos 360 dias de cultivo.

Em hortaliças, o padrão de absorção de micronutrientes também varia conforme o estágio de desenvolvimento. Em estudo conduzido com a cultura do pimentão sob fertirrigação, Marcussi e Villas Bôas (2003) observaram que o acúmulo de micronutrientes na planta permanece relativamente baixo até cerca de 40 dias após o transplante das mudas. A partir desse período, ocorre aumento gradual na absorção até aproximadamente 120 dias após o transplante, seguido por um incremento

mais acentuado entre 120 e 140 dias, indicando maior demanda nutricional nesse intervalo.

De modo geral, para culturas hortícolas recomenda-se a aplicação foliar de molibdênio em duas pulverizações, realizadas entre a fase vegetativa e o início do florescimento. No caso da cultura da ervilha, por exemplo, a recomendação é que a aplicação foliar do micronutriente seja realizada no estágio fenológico R1 (DIAS, 2017).

Sintomas de deficiências

A deficiência de molibdênio (Mo) nas plantas está principalmente associada a alterações no metabolismo do nitrogênio, uma vez que esse micronutriente atua como cofator de enzimas fundamentais envolvidas na assimilação de nitrato e na fixação biológica do nitrogênio. Quando ocorre limitação de Mo, a atividade dessas enzimas é reduzida, resultando em acúmulo de nitrato (NO_3^-) nos tecidos vegetais e comprometimento do crescimento e desenvolvimento das plantas (MARSCHNER, 2012; BITTNER, 2014).

Os sintomas visuais de deficiência geralmente manifestam-se nas folhas, podendo variar entre espécies vegetais. De modo geral, observa-se redução do crescimento foliar, clorose e aparecimento de manchas irregulares de coloração amarelada ou marrom na lâmina foliar. Em estágios mais avançados, podem surgir áreas necróticas nas extremidades das folhas, que se expandem progressivamente ao longo das margens, podendo culminar com a morte e a abscisão precoce das folhas (LIMA FILHO et al., 2020; ZAMBRANO et al., 2020).

Além dessas alterações, a deficiência de molibdênio pode provocar deformações foliares associadas à degeneração de células do parênquima, resultando em folhas menores e com aspecto irregular. Em algumas espécies, também podem ser observados sintomas como encurvamento do limbo foliar, murchamento das margens e redução da área fotossintética, fatores que contribuem para a diminuição da capacidade produtiva das plantas (KAISER et al., 2005; IDE et al., 2011).

Como consequência das alterações no metabolismo do nitrogênio, a deficiência desse micronutriente pode afetar processos fisiológicos importantes, como a síntese de proteínas, a formação de clorofila e a atividade respiratória celular. Adicionalmente, há evidências de que a limitação de molibdênio pode reduzir a síntese de ácido ascórbico (vitamina C) e comprometer a viabilidade do pólen, o que pode impactar negativamente a reprodução e o rendimento de diversas culturas (BITTNER, 2014; ZAMBRANO et al., 2020).

Em leguminosas, nas quais o molibdênio desempenha papel essencial na fixação biológica do nitrogênio, a deficiência do nutriente pode resultar em redução significativa da nodulação e da eficiência da simbiose com bactérias fixadoras de

nitrogênio. Estudos indicam que uma fração considerável do molibdênio absorvido pelas plantas pode ser translocada para as sementes, reforçando a importância desse micronutriente para o desenvolvimento reprodutivo e para a qualidade fisiológica das sementes (GUPTA, 1997; MARSCHNER, 2012).

Casos de toxicidade por molibdênio em plantas são relativamente raros quando comparados à ocorrência de deficiência. Em condições naturais, muitas espécies apresentam elevada tolerância ao elemento, podendo acumular concentrações relativamente altas nos tecidos sem apresentar sintomas visíveis de toxicidade. Relatos experimentais indicam que plantas cultivadas em solos com elevados teores de Mo podem apresentar concentrações foliares superiores a 200 mg kg^{-1} sem manifestação de sintomas fisiológicos evidentes (KABATA-PENDIAS, 2010).

Conclusões

O molibdênio, embora requerido em quantidades extremamente reduzidas, desempenha papel fundamental no metabolismo vegetal, especialmente por integrar o cofator molibdênio presente em enzimas envolvidas em processos essenciais do metabolismo do nitrogênio, como a fixação biológica e a assimilação do nitrato. Dessa forma, a adequada disponibilidade desse micronutriente no sistema solo-planta é determinante para o funcionamento eficiente de processos fisiológicos que influenciam diretamente o crescimento, o desenvolvimento e o desempenho produtivo das culturas.

A literatura demonstra que fatores edáficos, particularmente o pH do solo, a matéria orgânica e as interações com outros íons, exercem forte influência sobre a disponibilidade e a dinâmica do molibdênio no ambiente agrícola. Nesse contexto, práticas de manejo que promovam o equilíbrio da fertilidade do solo, associadas ao uso estratégico de fertilizantes molíbdicos, podem contribuir significativamente para a otimização da nutrição mineral e para o aumento da eficiência do uso de nitrogênio pelas plantas.

Além disso, o entendimento aprofundado dos mecanismos fisiológicos e das interações do molibdênio com outros nutrientes representa um aspecto essencial para o desenvolvimento de estratégias de manejo mais eficientes e sustentáveis. Apesar dos avanços no conhecimento sobre a nutrição molíbdica das plantas, ainda existem lacunas relacionadas à dinâmica desse micronutriente em diferentes sistemas de cultivo, às respostas fisiológicas específicas entre espécies e às interações com condições ambientais e práticas agrícolas.

Dessa forma, futuras pesquisas voltadas à integração entre fisiologia vegetal, fertilidade do solo e manejo nutricional poderão ampliar a compreensão do papel do molibdênio nos sistemas agrícolas, contribuindo para o desenvolvimento de

tecnologias que promovam maior eficiência produtiva e sustentabilidade na agricultura.

Referências

ANDRADE, M. F.; SIQUEIRA, T. S.; HENRIQUE, J. C. G. S.; CARVALHO, L. H. M.; SILVA, M. A. D.; SIMPLÍCIO, J. B. Fixação biológica de nitrogênio em feijão-caupi em resposta á inoculação com bradyrhizobium e diferentes doses de molibdênio. **Revista Delos**, Curitiba, v. 16, n. 45, p. 1748-1759, 2023. Disponível em: <https://ojs.revistadelos.com/ojs/index.php/delos/article/view/941/844>. Acesso em: 12 mar. 2026.

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. **Developments in Soil Science**. New York, Elsevier, v. 7, p. 395, 1977.

BROCH, D. L.; RANNO, S. K. **Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura da soja**. Mato Grosso do Sul: Fundação MS, p. 12, 2010..

BITTNER, F. Molybdenum metabolism in plants and crosstalk to iron. **Frontiers in plant science**, v. 5, p. 28, 2014.

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.

CASSINI, S. T. A. FRANCO, M. C. Fixação Biológica de Nitrogênio: microbiologia, fatores ambientais e genéticos. **Feijão**, p. 143-170, 2011.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. **Seja o doutor do seu milho: Nutrição e adubação**. 2.ed. Piracicaba: Potafós, p. 9, 1995.

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. p. 38, 2019.

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.

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, p. 78, 2017.

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**. Lavras: UFLA / FAEPE, 2005.

FERNANDES, F.A. ARF, O.; BINOTTI, F.F. DA S.; ROMANINI JUNIOR, A.; SÁ, M.E. DE; BUZETTI, S.; RODRIGUES, R.A.F. Molibdênio foliar e nitrogênio em feijoeiro cultivado no sistema plantio direto. **Acta Scientiarum**. Agronomy, Maringá, v. 27, no. 1, p. 7-15, Jan-Mar, 2005.

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, p. 33, 2006.

FURLANI, A. M. C. **Nutrição mineral**. In: KERBAUY, G. B. Fisiologia vegetal. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 40–75, 2004.

GUPTA, U. C. Symptoms of molybdenum deficiency and toxicity in crops. **Molybdenum in agriculture**, v. 2, p. 160-170, 1997.

HAFEEZ, B., KHANIF, Y. AND SELEEM, M. Role of zinc in plant nutrition -A Review. **American Journal of Experimental Agriculture**, p. 374-391, 2013.

HUNGRIA, Mariangela; NOGUEIRA, Marco Antonio; ARAUJO, Ricardo Silva. Soybean seed co-inoculation with *Bradyrhizobium* spp. and *Azospirillum brasilense*: a new biotechnological tool to improve yield and sustainability. **American Journal of Plant Sciences**, v. 6, n. 6, p. 811, 2015.

IDE, Y. et al. Effects of molybdenum deficiency and defects in molybdate transporter MOT1 on transcript accumulation and nitrogen/sulphur metabolism in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Experimental Botany**, v. 62, n. 4, p. 1483-1497, 2011.

- JACOB-NETO, J.; THOMAS, R. J.; FRANCO, A. A. **Varição estacional da concentração de molibdênio nos nódulos e demais partes da planta de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Turrialba, v. 38, p. 51–58, 1988.
- JACOB-NETO, J.; FRANCO, A. A. **Adubação de molibdênio em feijoeiro**. Comunicado Técnico n. 12, Seropédica: EMBRAPA-UAPNPBS, 4 p., 1986.
- KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants**. 4. ed. Boca Raton: CRC Press, 2010.
- KAISER, B. N. et al. The role of molybdenum in agricultural plant production. **Annals of botany**, v. 96, n. 5, p. 745-754, 2005.
- 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.
- LIMA FILHO, O. F. et al. **Desordens nutricionais em plantas**. Comunicado Técnico, Dourados-MS, 2020.
- LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G. **Uso eficiente de fertilizantes e corretivos agrícolas: aspectos agronômicos**. 3ª ed. São Paulo: ANDA, p. 72, 2000.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Agronômica Ceres. São Paulo, p. 638, 2006.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: **Ceres**, p. 254, 1980.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, p. 201–208, 1989.
- MANUEL, T. J. et al. Roles of molybdenum in plants and improvement of its acquisition and use efficiency. In: Plant micronutrient use efficiency. **Academic Press**, p. 137-159, 2018.
- 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.
- MARSCHNER, Horst (Ed.). **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. Academic press, 2011.
- 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**, Berlim, v.5, n. 1, p.73-78, 1996.
- MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. . Lavras: Ed. UFLA, p. 626, 2006.
- 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
- PAIS, L.; JONES JUNIOR, J. B. **The handbook of trace elements**. Boca Raton: St. Lucie Press, p. 223, 1996.
- 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.
- 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
- 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.
- 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.
- PRADO, R. M. **Nutrição de Plantas**. São Paulo: UNESP, 2008.
- 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, 2020a.
- RANA, M. S.; HU, C. X.; SHAABAN, M.; IMRAN, M.; AFZAL, J.; MOUSSA, M. G.; ELYAMINE, A. M.; BHANTANA, P.; SALEEM, M. H.; SYAIFUDIN, M.; KAMRAN, M.; SHAH, M. A.; SUN, X. Soil phosphorus transformation characteristics in response to molybdenum supply in leguminous

- crops. **Journal of Environmental Management**, v. 268, p. 110610, ago. 2020b. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110610>. Acesso em: 11 mar. 2026.
- RANA, M. S.; SUN, X.; IMRAN, M.; ALI, S.; SHAABAN, M.; MOUSSA, M. G.; KHAN, Z.; AFZAL, J.; BINYAMIN, R.; BHANTANA, P.; ALAM, M.; DIN, I. U.; YOUNAS, M.; HU, C. Molybdenum-induced effects on leaf ultra-structure and rhizosphere phosphorus transformation in *Triticum aestivum* L. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 153, p. 20-29, ago. 2020c. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.05.010>. Acesso em: 12 mar. 2026.
- REISENAUER, H. M.; WALSH, L. M.; HOEFT, R. G. Testing soils for sulphur, boron, molybdenum and chlorine. In: WALSH, L. M.; BEATON, J. D. (Ed.). **Soil testing and plant analysis**. Madison: Soil Science Society of America, p. 173–200, 1973.
- RIBEIRO, F. S. et al. Produção e qualidade de sementes de feijão carioca sob aplicação foliar de molibdênio. **Lumen et Virtus**, v. 16, n. 52, p. e8370-e8370, 2025.
- SFREDO, G. J.; OLIVEIRA, M. C. N. **Soja: Molibdênio e Cobalto**. Londrina – PR. Embrapa Soja, 2010, 36p
- SILVEIRA, P. G. et al. Efeito de doses de cobalto e molibdênio aplicadas no sulco de plantio da soja inoculada com *Bradyrhizobium*. **Unifunec Científica Multidisciplinar**, v. 10, n. 12, p. 1-13, 2021.
- 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.
- 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.
- TIFFIN, L. O. **Translocation of micronutrients in plants**. In: MORTVEDT, J. J.; GIORDANO, P. M.; LINDSAY, W. L. *Micronutrients in agriculture*. Madison: Soil Science Society of America, p. 199–229, 1972.
- FERNANDES, M. S. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006.
- TORQUATO, J. P. P. **Interação de fósforo e molibdênio nas concentrações de nutrientes e na produção de Feijão-Caupi**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.
- 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
- YU, G. H.; KUZYAKOV, Y.; LUO, Y.; GOODMAN, B. A.; KAPPLER, A.; LIU, F. F.; SUN, F. S. Molybdenum bioavailability and asymbiotic nitrogen fixation in soils are raised by iron (oxyhydr) oxide-mediated free radical production. **Environmental Science & Technology**, v. 55, n. 21, p. 14979-14989, out. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04240?urlapp=nd=%3Fref%3DPDF&jav=VoR&rel=cite-as>. Acesso em: 12 mar. 2026.
- ZAMBRANO, J. G.; OLIVO, E. A. J.; CEDEÑO, G.G. **Efecto de aplicaciones foliares de molibdeno sobre el uso eficiente de nitrógeno y rendimiento en maíz amarillo duro**. 2020. 46 f. Tesis de grado (Ingeniería Agrícola) — Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta, Ecuador, 2020. Disponível em: <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/1316>. Acesso em: 13 mar. 2026.