


## Micronutrientes do solo: dinâmica, disponibilidade e manejo de adubação

 <https://doi.org/10.56238/sevened2024.008-007>

**Carlos Henrique Lima de Matos**

Mestre em Agronomia pela UFRR  
Professor EBTT do IFRR

**José Frutuoso do Vale Júnior**

Doutor em Solos e Nutrição pela UFV  
Professor Titular da UFRR

**Raiovane Araújo Montenegro**

Mestre em Agronomia pela UFRR

**Victor Hugo Carvalho Sabóia**

Estudante de Agronomia pela UFRR

**Sandra Cátia Pereira Uchôa**

Doutora em Solos e Nutrição pela UFV  
Professora Titular da UFRR

**Ingridy do Nascimento Tavares**

Engenheira Agrônoma pela UFRR

---

### RESUMO

Os micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Zn e Mo) são requeridos, de modo geral, em quantidades pequenas e desempenham diversas funções metabólicas na planta. No solo, a sua disponibilidade pode ser afetada por diversos fatores, como pH, textura, teor de matéria orgânica e concentração de outros elementos. A forma como esses fatores interagem pode influenciar a absorção dos micronutrientes pelas raízes das plantas. Uma vez absorvidos pelas raízes, o transporte dos micronutrientes é afetado pela forma com que estão complexados e teor disponível na solução do solo. A deficiência dos micronutrientes gera diversos sintomas visíveis no vegetal, incluindo clorose, deformação, necrose e redução no crescimento, que podem ser corrigidos com o manejo adequado dos fertilizantes. Este capítulo traz informações atualizadas quanto à dinâmica dos micronutrientes no solo e na planta, quais fatores influenciam em sua disponibilidade e recomendação de adubação para esses nutrientes.

**Palavras-chave:** Absorção, Clorose, Deficiência, Necrose, Transporte.

## 1 INTRODUÇÃO

Os micronutrientes, nas últimas décadas, passaram a ser utilizados de modo mais rotineiro nas adubações. Dos dezesseis nutrientes essenciais para as plantas, sete são micronutrientes, sendo eles: boro (B), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), molibdênio (Mo) e cloro (Cl). Embora as plantas, em geral, não os necessitem em grandes quantidades, a falta de qualquer um deles no solo pode limitar o crescimento das plantas. Nesse estudo não será abordado o Cl.

As funções dos micronutrientes dividem-se entre constituintes de grupos protéticos e ativadores de reações enzimáticas. Sem os micronutrientes como ativadores, o sistema enzimático nas plantas seria simplesmente uma massa inerte de proteínas (Gupta et al., 2008; Andrade et al., 2021).

Os motivos que têm evidenciado a inclusão de fertilizantes contendo micronutrientes nas planilhas de adubação podem ser assim resumidos:

a) Expansão da fronteira agrícola: exploração agrossilvopastoril intensiva na região dos cerrados, constituída de solo que, por sua pobreza química e elevada acidez, apresenta deficiência de nutrientes. A correção da acidez visa elevar o pH e disponibilizar as bases Ca e Mg. O aumento do pH reduz a disponibilidade de micronutrientes catiônicos, devendo se prever a entrada desses nutrientes por meio do manejo de fertilizantes.

b) Produtividade das culturas: os altos rendimentos das colheitas promovem grande exportação de nutrientes e por vezes o esgotamento das reservas, sobretudo, dos micronutrientes nos solos, sendo essas deficiências cada vez mais registradas nas pesquisas (Resende, 2005; Abreu et al., 2007).

c) Pureza dos fertilizantes: os processos atuais de produção de fertilizantes NPK removem as impurezas, excluindo os micronutrientes que eram fornecidos indiretamente.

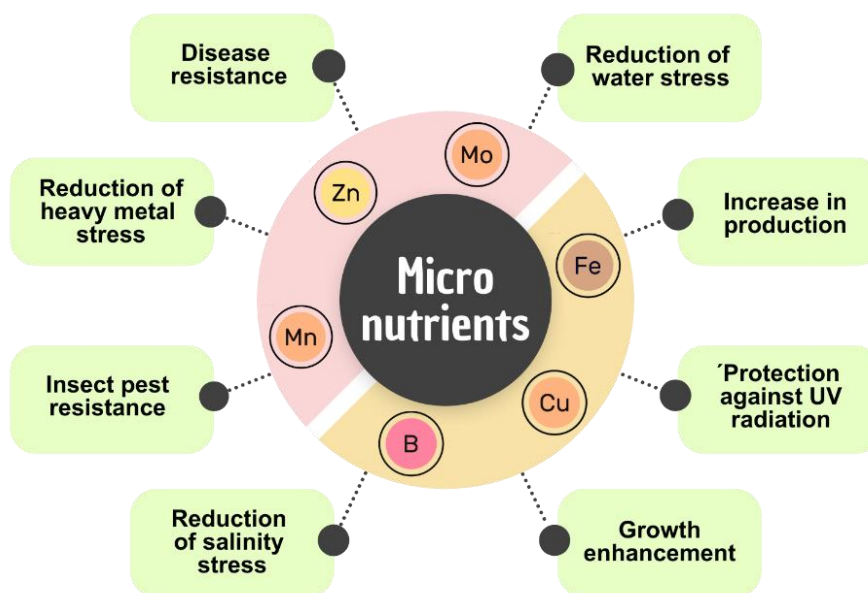
d) Especificidade nutricional: certas culturas têm especificidades quanto à necessidade de micronutrientes, por exemplo, leguminosas e plantas pertencentes à família das Brassicaceae requerem B e Mo. Os cereais apresentam maiores respostas ao Zn e Cu e a beterraba aos Mn (Khaliq et al., 2019; Andrade et al., 2021).

e) Manejo do solo: erosão do solo e o cultivo de longo prazo resultam na remoção de micronutrientes dos solos.

Na Figura 1, são destacados os principais papéis dos micronutrientes nas plantas. Os sintomas causados pela falta ou excesso desses nutrientes nas plantas, em níveis de tecido, são um guia útil para estabelecer a deficiência ou toxicidade de um elemento. Portanto, é importante que se conheça a distribuição dos micronutrientes nos diferentes órgãos vegetais (Gupta et al., 2008).

Alguns micronutrientes essenciais e metais pesados em excesso podem resultar toxicidade para plantações (Khaliq et al., 2019).

Figura 1. Respostas das plantas em função dos micronutrientes do solo a estresses bióticos e abióticos. Fonte: Autor (2024).



## 2 DINÂMICA DOS MICRONUTRIENTES

Os solos apresentam variações significativas em relação ao teor de micronutrientes. Em uma análise abrangente, observa-se que a abundância desses micronutrientes varia principalmente com o material de origem (Tabela 1). No entanto, mesmo quando o material de origem é o mesmo, a ação de diferentes agentes de intemperismo, como a umidade e a temperatura, pode resultar em solos com características distintas. Além disso, ficam evidentes os efeitos de condições climáticas diversas, tanto nas épocas atuais quanto nas passadas, influenciando a composição dos solos.

A estabilidade relativa dos minerais presentes nos solos também ilustra como os teores de micronutrientes podem variar conforme o estágio do intemperismo. Solos formados sob condições de intemperismo mais avançadas podem apresentar uma composição mineralógica diferente, refletindo-se em variações nos teores de micronutrientes essenciais para o desenvolvimento das plantas.

Tabela 1. Teores de micronutrientes em algumas rochas ígneas e sedimentares.

Elemento	i.Rochas ígneas		ii.	iii.Rochas sedimentares		
	Granito	Basalto		Calcário	Arenito	Folhelos
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----					
Fe	27.000	86.000		3.800	9.800	47.000
Mn	400	1.500		1.100	10 - 100	850
Cu	10	100		4	30	45
Zn	40	100		20	16	95
Mo	2	1		0,4	0,2	2,6
B	15	5		35	100	100

Fonte: Silva et al. (2006)

## 2.1 FATORES ENVOLVIDOS NA DINÂMICA DOS MICRONUTRIENTES NO SOLO E NA PLANTA

### 2.1.1 Textura do solo

A textura do solo influencia na dinâmica dos micronutrientes para as plantas, uma vez que tais elementos podem se associar à fase sólida do solo. A energia com a qual os micronutrientes ficam associados à fase sólida varia entre eles, causando mobilidade diferencial entre os micronutrientes no sistema-solo (Tabela 2). O Zn e o Mn possuem, em geral, mobilidade muito baixa, enquanto o B é extremamente móvel no perfil do solo. Assim, para os dois primeiros o transporte na solução do solo é feito essencialmente por difusão. Para o Cu, o processo de intercepção de raízes assume certa importância, enquanto para o B o fluxo em massa é o principal meio de transporte (Rehman et al., 2018).

O transporte dos micronutrientes no solo é importante para aspectos associados ao uso dos fertilizantes e para a compreensão de sintomas de deficiência, por exemplo, de B e Mo, frequentemente verificados em épocas secas. No caso do B, tem-se que seu transporte à região das raízes é dependente de um gradiente de potencial hídrico resultante da transpiração da planta, processo que decresce nas épocas secas (Landi et al., 2019). Para o Zn, inicialmente há a necessidade do estabelecimento de um gradiente de concentração necessário, mas não suficiente, para o estabelecimento do fluxo difusivo que, para ocorrer, requer bom teor de umidade no solo. Por isso, é comum observar o desaparecimento dos sintomas de deficiência desses micronutrientes após as primeiras chuvas. Entretanto, se as chuvas são mais intensas, pode voltar a haver deficiência de B

devido à sua grande mobilidade no solo, e possível lixiviação, fato que não ocorre com Zn (Rengel, 2015; Rehman et al., 2018).

Tabela 2. Diferentes formas de mobilidade dos micronutrientes no solo.

Nutriente	iv. Formas (%)		
	Interceptação radicular	Fluxo de Massa	Difusão
B	3	97	0
Cu	70	20	10
Fe	50	10	40
Mn	15	5	80
Mo	5	95	0
Zn	20	20	60

Fonte: Camargo (2006).

A lixiviação do B permite inferir sobre a importância da matéria orgânica na sua manutenção, que complexa este micronutriente pelos radicais e grupamentos orgânicos como um grupamento diol. Assim, todas as práticas de manejo e conservação do solo que levem à manutenção da matéria orgânica são benéficas à disponibilidade de micronutrientes para as plantas (Landi et al., 2019).

Solos mais argilosos podem adsorver parte do B, que se encontra na forma aniônica  $H_2BO_3^-$  ou  $B(OH)_4^-$ , indisponibilizando esse nutriente para absorção na planta (Chatterjee e Bandyopadhyay, 2017). No caso do Zn, solos com maior teor de óxidos de ferro e alumínio são mais afetados devido à sua afinidade por esses coloides. Por outro lado, o Cu tem maior afinidade com a matéria orgânica, sendo mais adsorvido em solos orgânicos (Andrade et al., 2021).

A transformação iônica dos micronutrientes é um processo relevante, pois determina se o nutriente estará mais ou menos disponível para absorção pelas plantas (Abreu et al., 2007). A Tabela 3 apresenta um resumo das formas absorvidas desses micronutrientes e sua mobilidade dentro da planta. É importante destacar que, com exceção do B, todos os micronutrientes são incorporados na planta na mesma forma em que são absorvidos. Além disso, excetuando-se o Mo, esses micronutrientes são considerados imóveis dentro da planta (Rajj, 2011). Devido a essa característica de imobilidade, a deficiência desses nutrientes tende a se manifestar primeiramente nas folhas jovens, onde a demanda por nutrientes é mais alta durante os estágios iniciais de desenvolvimento.

Tabela 3. Formas de absorção, incorporação e mobilidade de micronutrientes no solo.

Nutriente	Forma absorvida	Forma incorporada	Mobilidade
B	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	-	Imóvel
Cu	Cu <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Imóvel
Fe	Fe <sup>2+</sup> , Fe-Quelato	Fe <sup>2+</sup>	Imóvel
Mn	Mn <sup>2+</sup>	Mn <sup>2+</sup>	Imóvel
Zn	Zn <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Imóvel
Mo	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	MoO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Móvel

Fonte: Dechen et al. (2018).

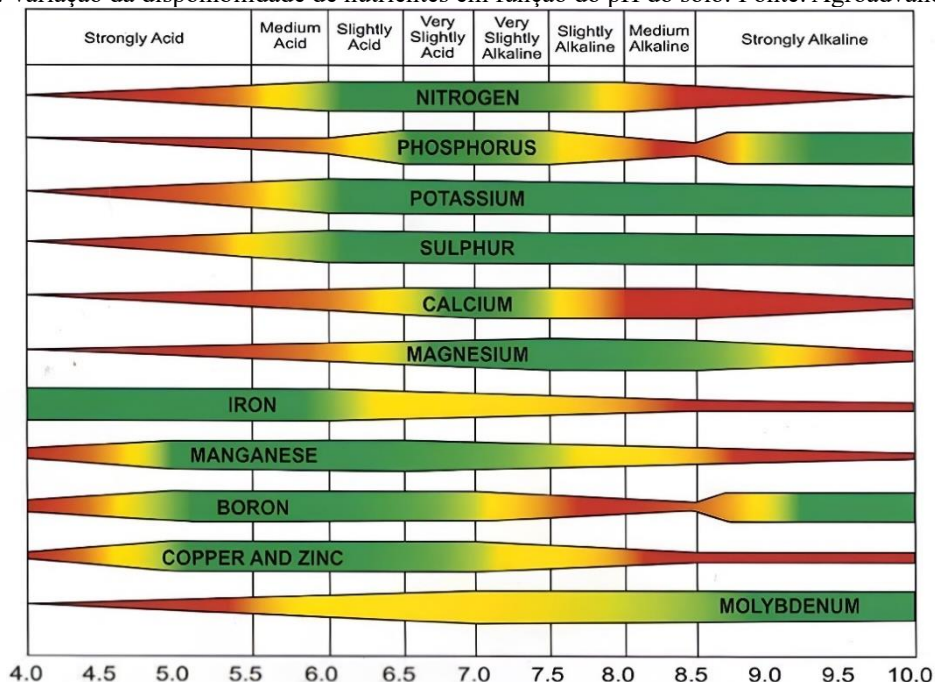
### 2.1.2 pH do solo

O pH do solo afeta consideravelmente a disponibilidade dos micronutrientes devido à transformação de formas solúveis para não solúveis no solo. A exceção é o Mo que segue o caminho contrário (Figura 2). Sob condições de pH ácido, alguns micronutrientes podem tornar-se suficientemente solúveis para serem tóxicos às plantas. O Mn, por exemplo, pode inibir o crescimento radicular em alguns solos ácidos. A calagem adequada destes solos, para elevar o pH próximo de 6,5, reduz o perigo de toxidez (Mascarenhas et al., 2013).

Aumentos no pH do solo acima de 6,0 induzem a hidrólise do Cu hidratado, o que pode levar a forte adsorção de Cu pelas cargas das argilas e matéria orgânica. Assim, a solubilidade do Cu<sup>2+</sup> é dependente do pH do solo e diminui 100 vezes para cada unidade de aumento de pH (Fageria et al., 2002; Fonseca et al., 2010). A aplicação superficial de calcário, nas taxas corretas em sistema de plantio direto, não leva, necessariamente, a deficiência de micronutrientes (Moreira et al., 2017).

Em casos de pH mais elevado, a forma de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> mais absorvida pela planta é minimizada em solução, diminuindo a absorção pelas raízes (Abreu et al., 2007; Dechen et al., 2018). O Zn e o Cu têm sua disponibilidade afetada pelo pH na ordem de 100 a 1000 vezes menor para cada unidade aumentada. Valores de pH acima de 6,0 elevam fortemente a adsorção dos íons aos colóides do solo, afetando sua disponibilidade (Abreu et al., 2007; Khaliq et al., 2019). Em relação ao pH, cada aumento de unidade causa redução da disponibilidade do Fe em 1000 vezes e do Mn em 100 vezes.

Figura 2. Variação da disponibilidade de nutrientes em função do pH do solo. Fonte: Agroadvance (2023).



Ao contrário dos outros micronutrientes, o Mo tem sua disponibilidade aumentada com o aumento do pH devido à forma preponderante do  $\text{MoO}_4^{2-}$ , ânion absorvido pelas plantas. A sua maior disponibilidade ocorre em solos alcalinos e é afetada negativamente por elevados teores de matéria orgânica e óxidos de ferro e alumínio, sendo estes menos impactantes do que a elevação do pH (Chatterjee e Bandyopadhyay, 2017).

Doses elevadas de corretivos da acidez (super calagem) podem causar alterações drásticas no meio, reduzindo a produtividade em razão de uma nutrição desequilibrada pela carência de micronutrientes. Ressalta-se que, geralmente, considerando aspectos técnicos, operacionais e econômicos, é mais difícil corrigir as condições resultantes de super calagem do que as condições frequentemente encontradas em solos ácidos (Carneiro et al., 2018).

### 2.1.3 Teor de matéria orgânica do solo

A atividade de microrganismos pode promover alterações nos teores de matéria orgânica e, assim, na disponibilidade de micronutrientes, seja por intermédio do fornecimento desses nutrientes em resposta à mineralização ou pelo decréscimo da sua complexação (Oliosi et al., 2016). Devido à quantidade de sítios ativos, a matéria orgânica tem elevado poder de complexar micronutrientes, sobretudo os catiônicos em condições de solos com acidez corrigida. A matéria orgânica também é a principal fonte de B, interferindo na sua disponibilidade para as plantas. Ambientes secos prejudicam o fornecimento de B pela matéria orgânica através da menor mineralização devido à diminuição da atividade microbiológica do solo (Abreu et al., 2007; Dechen et al., 2018).

#### 2.1.4 Potencial oxidação-redução

O Fe e o Mn têm sua disponibilidade afetada pelo potencial de oxirredução e pH dos solos. Considerando que as formas absorvíveis pela planta desses nutrientes são o  $\text{Fe}^{2+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$ , é necessária a presença de umidade para garantir a maior presença desses íons na forma absorvível pela planta (Khaliq et al., 2019). No caso do Fe, a transformação de  $\text{Fe}^{3+}$  (forma insolúvel) para  $\text{Fe}^{2+}$  (forma solúvel) ocorre em potencial de oxirredução de -185 mV, enquanto o  $\text{Mn}^{4+}$  (forma insolúvel) passa para a forma de  $\text{Mn}^{2+}$  (forma solúvel) em potencial de oxirredução de 200 mV, fazendo com que a toxidez por Mn ocorra bem mais rápido do que por Fe (Andrade et al., 2021).

O decréscimo do potencial de oxi-redução do meio é de grande importância prática. Por exemplo, plantas cultivadas em áreas de baixadas (várzeas úmidas) podem sofrer toxicidade de Mn e Fe pelo aumento na disponibilidade das suas formas reduzidas e, conseqüentemente, móveis ( $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Fe}^{2+}$ ). No caso particular da cultura do arroz, essa toxicidade pode ser minorada pois essa planta possui aerênquima, que possibilita a condução do oxigênio da parte aérea para as raízes. Assim, em condições de campo como as mencionadas, é frequente a observação de coloração marrom-avermelhada, que indica presença de ferro em forma oxidada ( $\text{Fe}^{3+}$ ) na superfície de raízes de plantas de arroz. E, também, mudança de  $\text{Mn}^{2+}$  para a forma oxidada ( $\text{Mn}^{4+}$ ) de menor atividade.

#### 2.1.5 Uso e manejo do solo

Quanto à influência do uso e manejo do solo sobre a disponibilidade de micronutrientes, além das considerações já expostas, pode-se levantar o problema da compactação do solo (Olios et al., 2016). Tem sido observada tendência crescente de haver camadas de solo compactadas em áreas com intensa exploração agrícola. Além de aspectos ou fatores associados a uma mecanização agrícola frequentemente inadequada (preparo de solo, principalmente), a própria adição de insumos como calcários, em doses elevadas e em repetidas aplicações responde por boa parte dos problemas de compactação observados. Nas camadas compactadas podem ocorrer até mesmo baixo potencial de oxi-redução, suficiente para propiciar toxicidade de Mn.

### 3 ESTUDO DOS MICRONUTRIENTES

#### 3.1 BORO

A função do B em plantas está representada na diferenciação de células meristemáticas. O consenso é de que sua função principal está relacionada à estrutura da parede celular e as substâncias a ela associadas (Chatterjee; Bandyopadhyay, 2017). A variação em tecidos vegetais é ampla, com valores geralmente mais elevados em dicotiledôneas do que em monocotiledôneas (Gupta et al., 2008). Está presente em soluções de solo com pH inferior a 8, principalmente como ácido bórico



indissociado ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ), a forma principal assumida pelas raízes, e dissocia-se a  $\text{B}(\text{OH})^{4-}$  apenas em valores de pH mais elevados (Abreu et al., 2007; Raij, 2011).

A deficiência de B é um distúrbio nutricional generalizado. Em condições de alta precipitação, o B é facilmente lixiviado sob a forma de  $\text{H}_3\text{BO}_3$ . A disponibilidade de B diminui com o aumento do pH do solo, principalmente em solos calcários e com alto teor de argila (Abreu et al., 2007). A disponibilidade também diminui drasticamente em condições de seca, provavelmente devido a uma diminuição na mobilidade do B pelo fluxo de massa para as raízes e à polimerização do ácido bórico (Resende, 2005; Dechen et al., 2018).

Os sintomas de deficiência de B nos brotos são perceptíveis nos botões terminais ou nas folhas mais novas, que ficam descoloridas e podem morrer. Os internódios ficam mais curtos, dando às plantas uma aparência espessa ou roseta (Figura 3). A deficiência é encontrada principalmente nos tecidos vegetais mais jovens (Dechen et al., 2018). Pode ocorrer clorose em folhas maduras, assim como lâminas foliares deformadas. Queda de botões, flores e frutos em desenvolvimento também são sintomas de deficiência. Com a deficiência de B, as células podem continuar a se dividir, mas os componentes estruturais não são diferenciados (Gupta et al., 2008). O B não é móvel nas plantas e um suprimento contínuo é necessário em todos os pontos de cultivo (Chatterjee; Bandyopadhyay, 2017).

Figura 3. Sintomas de deficiência de B em plantas de milho (*Zea mays*). Fonte: IPNI (2019).



### 3.2 COBRE

O Cu está presente nas plantas na forma complexada. Como outros metais pesados potencialmente tóxicos, o Cu em excesso liga-se às fitoquelatinas e aos peptídeos contendo enxofre

(Khaliq et al., 2019). O Cu em solução está presente como cuproso ( $\text{Cu}^+$ ) e cúprico ( $\text{Cu}^{++}$ ). O Cu cuproso é facilmente oxidado a cúprico e, portanto, só é encontrado em formas complexadas (Abreu et al., 2007). O Cu é um ativador de vários sistemas enzimáticos em plantas e atua no transporte de elétrons e captura de energia por proteínas e enzimas oxidativas. Pode desempenhar um papel na produção de vitamina A. A deficiência interfere na síntese de proteínas (Raij, 2011; Dechen et al., 2018).

O suprimento de Cu nativo raramente foi reconhecido como necessitando de suplementação, no entanto, em algumas plantações de árvores cultivadas em solos ou areias orgânicas pode-se necessitar de suplementação (Gupta et al., 2008). O Cu pode ser tóxico em níveis baixos, portanto, a necessidade deve ser claramente estabelecida antes da reposição (Andrade et al., 2021).

Os sintomas de deficiência de Cu incluem: i) As folhas podem ser cloróticas ou verde-azulada profundas com as margens enroladas (Figura 4); ii) A casca das árvores costuma ser áspera e com bolhas, e pode haver vazamento de goma de fissuras na casca; iii) A floração e a frutificação podem não se desenvolver nas plantas anuais e podem morrer na fase de muda; iv) Crescimento atrofiado.

Figura 4. Sintomas de deficiência de Cu em plantas de milho (*Zea mays*). Fonte: IPNI (2019).



### 3.3 FERRO

O Fe é necessário para a formação da clorofila nas células vegetais. Ele serve como um ativador para processos bioquímicos, como respiração, fotossíntese e fixação simbiótica de nitrogênio (Gupta et al., 2008). A deficiência de Fe pode ser induzida por altos níveis de Mn ou alto teor de calcário nos solos (Raij, 2011). O Fe é absorvido pelas plantas como íons ferrosos ( $\text{Fe}^{2+}$ ) ou

férricos ( $\text{Fe}^{3+}$ ), sendo o último em menor quantidade. A função do Fe nas plantas depende das rápidas transições entre seus dois estados de oxidação em solução (Abreu et al., 2007). As plantas armazenam Fe como ferritina, uma proteína que encapsula o ferro férrico.

Em condições aeróbias do solo, o Fe é amplamente insolúvel como constituinte de óxidos e hidróxidos e tendem a se ligar a quelatos orgânicos. Dessa forma, a concentração de Fe livre na solução do solo é extremamente baixa na maior parte dos solos, com as plantas utilizando mecanismos para mobilizar o Fe e torná-lo disponível para absorção pelas raízes (Resende, 2005; Abreu et al., 2007). Alguns desses mecanismos não são específicos para a absorção de Fe. As raízes expelem prótons e ácidos orgânicos no solo e, com isso, diminuem o pH da rizosfera, elevando a solubilidade e a disponibilidade de Fe.

Existem dois mecanismos específicos para a absorção deste nutriente (Khaliq et al., 2019). O primeiro (característica de dicotiledôneas e monocotiledôneas não gramíneas) acidifica a rizosfera por meio da extrusão de prótons. O ferro férrico é reduzido a ferro ferroso pela enzima redutase na membrana plasmática. O ferro reduzido é transportado através da membrana por sistema específico de transporte de íons. O segundo mecanismo (característico do milho, cevada e aveia) envolve a extrusão de sideróforos pelas raízes. Neste caso, a redução para ferro ferroso não ocorre (Dechen et al., 2018; Andrade et al., 2021).

Os sintomas de deficiência de Fe incluem: i) Clorose intervinal de folhas jovens (as veias permanecem verdes, exceto em casos graves) (Figura 5); ii) Necrose do galho; iii) Em casos graves, morte de membros ou plantas inteiras.

Figura 5. Sintomas de deficiência de Fe em plantas de milho (*Zea mays*). Fonte: IPNI (2019).



### 3.4 MANGANÊS

O Mn atua como um ativador de enzimas nos processos de crescimento e auxilia o Fe na formação da clorofila. É parte do sistema onde a água é dividida e o O<sub>2</sub> é liberado. A outra proteína da qual o Mn é um constituinte integral é a superóxido dismutase, comum em organismos aeróbios (Dechen et al., 2018). A função desta enzima é fornecer proteção contra os radicais livres de oxigênio formados, convertendo esse radical livre altamente tóxico em peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), que é decomposto em água (Resende, 2005).

A alta concentração de Mn pode induzir deficiência de Fe. A absorção de Mn é principalmente como Mn<sup>2+</sup>, a forma reduzida (Abreu et al., 2007). Culturas arbóreas podem apresentar deficiências nesse nutriente, entretanto não há reconhecimento comum dos requisitos para este elemento (Raij, 2011). Alguns autores sugerem que as adições de Mn podem aumentar na produção de grãos (Khaliq et al., 2019; Andrade et al., 2021).

Os sintomas de deficiência de Mn incluem: i) Clorose internerval de folhas jovens (gradação de coloração verde pálida com coloração mais escura próxima às veias) (Figura 6); ii) Desenvolvimento de manchas cinzentas (aveia), estrias brancas internervais (trigo) ou manchas e estrias marrons internervais (cevada).

Figura 6. Sintomas de deficiência de Mn em plantas de milho (*Zea mays*). Fonte: IPNI (2019).



### 3.5 ZINCO

O Zn atua como um componente de enzimas ou como um cofator funcional, estrutural ou regulador de um grande número de enzimas. Mais de 80 proteínas contendo Zn foram relatadas (Andrade et al., 2021). O acúmulo de aminoácidos e amidas nas plantas demonstra a importância

do Zn para a síntese proteica. O Zn é um componente que compõe o RNA polimerase e constitui os ribossomos, sendo essencial para sua integridade estrutural. A diminuição no conteúdo de proteína de plantas com deficiência de Zn também resulta no aumento da degradação de RNA das células atingidas (Gupta et al., 2008). Ao contrário de outros íons metálicos, como Cu, Fe e Mn, o Zn é um cátion divalente ( $Zn^{++}$ ) que não sofre alterações de valência e, portanto, não tem atividade redox nas plantas. Altas concentrações de cátions divalentes, como  $Ca^{2+}$ , pode inibir a absorção de Zn (Abreu et al., 2007; Dechen et al., 2018).

Vários resultados experimentais indicam que existem interações P-Zn nas plantas, incluindo a inibição da translocação de Zn das raízes para a parte aérea e inativação fisiológica do Zn dentro da parte aérea (Khaliq et al., 2019). As interações P-Zn no solo ocorrem pela infecção das raízes com micorriza vesicular arbuscular, elevando a taxa de absorção desse nutriente. Essa infecção micorrízica é diminuída por um aumento no suprimento de P. Embora a conexão entre a deficiência de Zn e a toxicidade do P não seja bem compreendida, há evidências substanciais de que o Zn afeta o metabolismo do P nas raízes e aumenta a permeabilidade das membranas plasmáticas das células da raiz ao P e ao Cl (Raij, 2011).

A deficiência de Zn é generalizada em plantas cultivadas nos solos ácidos altamente intemperizados e está frequentemente associada à deficiência de Fe (Resende, 2005). A baixa disponibilidade de Zn em solos calcários de alto pH resulta principalmente da adsorção do Zn à argila ou  $CaCO_3$  (Abreu et al., 2007). Além disso, a absorção de Zn e a translocação para o broto são fortemente inibidos por altas concentrações de bicarbonato.

Os sintomas de deficiência de Zn nas plantas incluem: i) Diminuição do comprimento do caule e encurtamento dos internódios (Figura 7); ii) Reduzida formação de botões de frutos; iii) Folhas mosqueadas com clorose intervinal; iv) Necrose de galhos após o primeiro ano.

Figura 7. Sintomas de deficiência de Zn em plantas de milho (*Zea mays*). Fonte: IPNI (2019).



### 3.6 MOLIBDÊNIO

Embora o Mo seja um metal, ele ocorre em solução aquosa principalmente como ânion molibdato,  $\text{MoO}_4^{4-}$  (Abreu et al., 2007). O molibdato é relativamente móvel nas plantas e concentrações altas podem ser encontradas nas raízes do que nas folhas quando os suprimentos são limitados. A necessidade de Mo é a mais baixa entre os minerais, exceto, em certas espécies, o níquel. (Dechen et al., 2018). As funções do Mo como nutriente para as plantas estão relacionadas às mudanças de valência que sofre como componente metálico das enzimas.

Pesquisas demonstram que apenas algumas enzimas contêm Mo nas plantas. Ainda assim, em plantas superiores, duas enzimas contendo Mo, nitrogenase e nitrato redutase, são de vital importância na produção agrícola (Gupta et al., 2008). Todos os sistemas biológicos fixando  $\text{N}_2$  requerem nitrogenase. Cada molécula de nitrogenase contém dois átomos de Mo que estão associados ao Fe. Por esse motivo, o crescimento de plantas que dependem de fixação de  $\text{N}_2$  é estimulado pela aplicação de Mo em solos deficientes (Chatterjee e Bandyopadhyay, 2017).

A calagem pode aumentar a disponibilidade de Mo a ponto de ocorrer o consumo de luxo, o que pode se tornar perigoso para ruminantes, sensíveis às concentrações excessivas de Mo (Abreu et al., 2007). As plantas geralmente têm uma ampla faixa de concentrações de Mo aceitáveis. A alta concentração de Mo nas sementes, embora não tóxica, garante o crescimento adequado das mudas e um maior rendimento final de grãos. Há uma relação inversa entre o teor de Mo da semente e a resposta do rendimento ao fertilizante de Mo adicionado (Raij, 2011; Chatterjee e Bandyopadhyay, 2017).

Os sintomas de deficiência de Mo incluem: i) Clorose intervinal (Figura 8); ii) Baixa estatura e falta de vigor na planta; iii) Cauterização marginal e escavação ou enrolamento das folhas.

Figura 8. Sintomas de deficiência de Mo em plantas de milho (*Zea mays*). Fonte: IPNI (2019).



#### 4 DISPONIBILIDADE DE MICRONUTRIENTES NO SOLO

Os estudos sobre a determinação de micronutrientes totais em solos são limitados. Na maioria dos solos, o teor total de micronutrientes não está relacionado ao potencialmente disponível para a planta (Raij, 2011). No entanto, o conteúdo total indica a abundância relativa de B e Mo e pode ser útil para determinar seu potencial na absorção pelas plantas (Resende, 2005). Um resumo dos micronutrientes totais em solos brasileiros, conforme relatado por diversos autores, é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4. Faixas de disponibilidade consideradas adequadas na interpretação de análise de solo para micronutrientes de acordo com diferentes autores.

Literatura	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----				
Raij et al. (1996)	0,21 - 0,6	0,3 - 0,8	5,0 - 12,0	1,3 - 5,0	0,6 - 1,2
Alvarez V. et al. (1999)	0,36 - 0,6	0,8 - 1,2	19,0 - 30,0	6,0 - 8,0	1,0 - 1,5
Galvão (1999)	0,3 - 0,5	0,5 - 0,8	-	2,0 - 5,0	1,1 - 1,6
Sousa e Lobato (1998)	0,5	0,5	-	5,0	1
Comissão de Fertilidade do RS (1994)	0,1 - 0,3	0,2 - 0,5	-	-	0,2 - 0,5
Amplitudes de valores	0,3 - 0,6	0,5 - 1,2	19,0 - 30,0	2,0 - 8,0	1,0 - 1,6

Fonte: Resende (2005).

Estudos realizados por Chatterjee et al. (1976) nos principais solos das planícies do norte da Índia mostraram que o Mn e o Fe disponíveis não estavam relacionados aos seus conteúdos totais. Relacionamentos semelhantes foram relatados por Kanwar e Randhawa (1974) na maioria dos solos da Índia. Como seria de se esperar, o teor total de Fe no solo foi alto em 5,6 a 45,6 mg g<sup>-1</sup> e o Mn total do solo variou de 107 a 1600 mg kg<sup>-1</sup>. Em comparação com Fe e Mn, os conteúdos totais de Cu no solo foram baixos e variaram de 8 a 50 mg kg<sup>-1</sup>. O conteúdo de Zn em solos do norte da Índia variou de 13 a 384 mg kg<sup>-1</sup>, mas não mostrou relação com a fração disponível nos perfis de solo examinados. Em solos brasileiros, os teores de Mn têm ficado entre 20 e 3000 mg kg<sup>-1</sup> e os de Fe entre 10 e 100 mg g<sup>-1</sup>. Para Cu, os teores têm girado entre 10 a 80 mg kg<sup>-1</sup>, enquanto o Zn não ultrapassa 300 mg kg<sup>-1</sup> (Abreu et al., 2007; Andrade et al., 2021).

O teor de B dos solos variou de 4 a 630 mg kg<sup>-1</sup> em solos da Índia (Kanwar e Randhawa, 1976). O conteúdo total de B em alguns Argissolos do leste do Canadá variou de 70 a 116 mg kg<sup>-1</sup> (Gupta et al., 2008). Em solos brasileiros, os teores variaram entre 7 e 80 mg kg<sup>-1</sup> (Abreu et al., 2007; Andrade et al., 2021). Um estudo realizado em 108 amostras de solo mostrou uma correlação

positiva entre o B total e solúvel em água quente, sugerindo que o B total pode ser usado até certo ponto como um índice de disponibilidade.

De todos os micronutrientes, o Mo total está nas menores quantidades, variando de 0,05 a 3,2 mg kg<sup>-1</sup> em solos da Índia (Chatterjee et al., 1976). Em regiões úmidas, o teor total de Mo nos solos é de cerca de 2 mg kg<sup>-1</sup> e, no Brasil, não tem ultrapassado 5 mg kg<sup>-1</sup> (Abreu et al., 2007; Andrade et al., 2021). Embora não haja dados reais disponíveis mostrando a relação entre o Mo total e o disponível no solo, o Mo total do solo é uma reserva importante. Gupta et al. (2008) mostraram que os solos contendo quantidades muito baixas de Mo não foram capazes de atender às necessidades do nutriente nas culturas, mesmo quando suficientemente calcinados. Este não foi o caso em solos que continham maior Mo total.

## 5 RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO

Há existência de efeitos positivos, nulos e negativos da aplicação de micronutrientes, havendo, em termos de respostas, grande especificidade local em relação a solos e culturas. Isso demonstra que recomendações abrangentes e padronizadas não seriam a estratégia ideal quando se visa ao fornecimento racional de micronutrientes (Resende, 2005).

Em geral, para a obtenção de bons resultados, o manejo da adubação com micronutrientes deve ser algo mais refinado que aquele adotado para os macronutrientes, em virtude da maior complexidade inerente ao comportamento dos primeiros no solo e na planta. A análise de solo é a referência para o dimensionamento da aplicação de micronutrientes em áreas que nunca foram adubadas (Abreu et al., 2007). A partir de então, a adubação complementar deve ser confirmada por meio da análise foliar (Sousa, 1998).

A análise de solo tem a vantagem de permitir a avaliação da fertilidade do solo e a adoção de medidas corretivas, previamente ao plantio da lavoura. Entretanto, não é conveniente manejar a adubação somente com base na análise do solo, que algumas vezes leva a interpretações e recomendações duvidosas. Como dito anteriormente, a análise de solo para micronutrientes está sujeita a interferências e sua interpretação ainda não foi satisfatoriamente aperfeiçoada (Resende, 2005; Abreu et al., 2007). No caso do Zn, por exemplo, o nível crítico para o milho é de 1 mg dm<sup>-3</sup> quando o pH está em torno de 6,0 e aumenta com a elevação do pH (Galvão, 2002). O nível crítico de Cu também costuma ser maior em solos com altos conteúdos de matéria orgânica. Dessa forma, a análise das folhas da cultura é altamente recomendável visando um diagnóstico mais preciso do estado nutricional da produção, o qual, em última instância, reflete a eficiência no manejo da adubação.



Em virtude da falta de informações pormenorizadas para condições locais, a chamada “adubação de segurança” é ainda muito difundida. Para a região do Cerrado, por exemplo, a adubação de segurança consiste da aplicação a lanço e incorporação, a cada quatro ou cinco anos, de doses que variam de 4,0-6,0 kg de Zn; 3,0-6,0 kg de Mn; 0,5-2,0 kg de B; 1,0-4,0 kg de Cu; e 0,2-0,4 kg de Mo por hectare. O efeito residual dessa adubação é suficiente para quatro ou mais cultivos, sobretudo em relação ao Cu e Zn (Sousa, 1998; Galvão, 2002).

Embora para culturas perenes a adubação foliar realizada junto com a aplicação de defensivos seja prática rotineira, para culturas anuais, a melhor forma de aplicação de micronutrientes é via solo. Neste caso, a adubação foliar é recomendada quando não foi feita aplicação no solo ou esta foi insuficiente (Galvão, 1998). Assim sendo, a adubação foliar deve ser suplementar à via solo, sendo seu efeito residual pequeno ou nulo. Segundo Lopes (1999), pulverizações foliares de Zn em milho, de Mn na soja e de Mo em feijão podem dar bons resultados em relação à não aplicação desses micronutrientes. As adubações foliares feitas com os tratamentos fitossanitários são mais compensatórias em termos de custo (Volkweiss, 1991). Os micronutrientes podem ainda ser fornecidos via semente (principalmente Co e Mo) ou por imersão das raízes de mudas em soluções contendo os nutrientes desejados (Resende, 2005).

Há uma série de fertilizantes minerais disponíveis no mercado que podem ser utilizados como fonte de micronutrientes (Tabela 5). A variação das fórmulas moleculares, os diversos teores e a quantidade elevada de micronutrientes tornam difícil a decisão do agricultor, o que resulta, cotidianamente, em adubações generalizadas (Andrade et al., 2021). Esse é o principal motivo da ocorrência de sintomas de deficiência nas lavouras, ainda que em menor frequência do que com macronutrientes.

Não é tarefa simples a análise comparativa dos resultados obtidos em diferentes experimentos testando fontes, doses e formas de aplicação de micronutrientes. Muitos dos trabalhos publicados não descrevem o histórico de área (nível inicial de disponibilidade e aplicações anteriores de micronutrientes, uso de defensivos com micronutrientes na sua composição etc.), as características dos fertilizantes, os procedimentos de aplicação e outras informações que podem influenciar muito a ocorrência e a magnitude das respostas (Raij, 2011). Dessa forma, há resultados controversos, dificultando conclusões consistentes sobre a eficiência da adubação com micronutrientes.

Tabela 5. Informações sobre diferentes fontes de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn Zn e Mo).

Fonte	Fórmula	Teor (%)
<b>B</b>		
Bórax	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	11
Ácido bórico	$\text{B}(\text{OH})_3$	17
Pentaborato de sódio	$\text{Na}_2\text{B}_{10}\text{O}_{16} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	18
Ulexita	$\text{Na}_2\text{CaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	8 - 15
Colemanita	$\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	10
<b>Cu</b>		
Sulfato de cobre	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	25
Quelato de cobre, EDTA	$\text{Na}_2\text{Cu EDTA}$	13
Sulfato de cobre monohidratado	$\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	35
Fosfato de amônio e cobre	$\text{CuNH}_4\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	32
Óxido de cobre	$\text{CuO}$	75
Óxido cuproso	$\text{Cu}_2\text{O}$	89
<b>Fe</b>		
FTE BR-9	-	6
FTE BR-10	-	4
FTE BR-12	-	3
BR-12 Extra	-	3
FTE BR-13	-	2
NaFe EDTA	-	5 - 14
<b>Mn</b>		
Sulfato de manganês	$\text{MnSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	26 - 28
Cloreto de manganês	$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	25
Carbonato de manganês	$\text{MnCO}_3$	40
Dióxido de manganês	$\text{MnO}_2$	63
Óxido de manganês	$\text{MnO}$	41 - 68
<b>Zn</b>		
Sulfato de zinco (hidratado)	-	23 - 35
Sulfato de zinco (básico)	-	55
Óxido de zinco	-	50 - 80
Oxisulfato	-	Variável
Cloreto de zinco	-	24
Nitrato de zinco	-	18
<b>Mo</b>		
Molibdato de sódio	$\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	39
Molibdato de amônio	$(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	54
Trióxido de molibdênio	$\text{MoO}_3$	66

Fonte: IPNI (2019).



## REFERÊNCIAS

AGROADVANCE. pH do solo e disponibilidade de nutrientes. Disponível em: <https://agroadvance.com.br/blog-ph-do-solo-e-disponibilidade-de-nutrientes/>. Acesso em: 15 de fevereiro de 2024.

ALVAREZ V., V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (eds.) Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5a aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. p.25-32.

ANDRADE, R.; SILVA, S. H. G.; WEINDORF, D. C.; CHAKRABORTY, S.; FARIA, W. M.; GUILHERME, L. R. G.; CURTI, N. Micronutrients prediction via pXRF spectrometry in Brazil: Influence of weathering degree. *Geoderma regional*, v. 27, 2021.

ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. C. G. *Micronutrientes*. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do Solo. Viçosa-MG: SBCS, 2007. p. 471-550.

BERNARDI, A. C. de C. MACHADO, P. L. O. de A. SILVA, C. A. Fertilidade do solo e demanda por nutrientes no Brasil. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. de; PERES, J. R. R. (Ed.). *Uso agrícola dos solos brasileiros*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. cap. 6, p. 61-77.

CARNEIRO, J. S. S.; SOUSA, S. A.; NIKKEL, M.; DEUSDARÁ, T. T.; MACHADO, A. F.; SILVA, R. R. Supercalagem: alterações em atributos químicos de um Latossolo Vermelho amarelo distrófico. *Revista de Ciências Agro-Ambientais*, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 31–38, 2018. DOI: <https://doi.org/10.5327/rcaa.v16i1.1522>.

CAMARGO de, O. A. Reações e interações de micronutrientes no solo. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2006\\_3/micronutrientes/Index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2006_3/micronutrientes/Index.htm)>

CHATTERJEE, C.; AGARWALA, S. C.; SHARMA, P. N. Micronutrient status of principal soil types of Uttar Pradesh. *Geophytology*, v. 6, p. 245–258, 1976.

CHATTERJEE, R.; BANDYOPADHYAY, S. Effect of boron, molybdenum and biofertilizers on growth and yield of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) in acid soil of eastern Himalayan region. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, v. 16, n. 4, p. 332-336, 2017.

COUTINHO NETO A. A.; SILVA P. P. A. Recursos genéticos vegetais: Aplicações do cultivo *in vitro*. 2017. VII Botânica no Inverno (pp.261-277). 7ª ed. cap. 20.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO RIO GRANDE DO SUL E SANTA CATARINA. Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3 ed. Passo Fundo: Comissão de Fertilidade do Solo – RS/SC, SBCS – Núcleo Regional Sul, 1994. 224p.

DECHEN, A. R.; NACHTIGALL, G. R.; CARMELLO, Q. A. C.; SANTOS, L. A.; SPERANDIO, M. V. L. Micronutrientes. In: FERNANDES, M. S.; SOUZA, S. R.; SANTOS, L. A. (Ed.) *Nutrição Mineral de Plantas*. Viçosa: SBCS, 2018.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. Micronutrients in crop production. *Advances in Agronomy*, v. 77, n. 1, p. 185-268, 2002.

FONSECA, A. F.; CAIRES, E. F.; BARTH, G. Extraction methods and availability of micronutrients for wheat under a no-till system with a surface application of lime. *Scientia Agricola*, v. 67, n. 1, p. 60-70, 2010.

GALRÃO, E. Z. Micronutrientes. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). *Cerrado: correcao do solo e adubação*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. p. 185-226.

GALRÃO, E.Z. Micronutrientes. In: SIMPOSIO SOBRE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 1997, Dourados. *Anais... Dourados: Embrapa-CPAO, 1998. p.76-80. (Embrapa-CPAO. Documentos, 22).*

GALRÃO, E.Z. Correção da deficiência de micronutrientes em solos de cerrado para culturas anuais. Brasília: Embrapa Cerrados, 1999. 2p. (Guia Técnico do Produtor Rural, 29).

GUPTA, U. C.; KENING, W. U; SIYUAN, L. Micronutrientes in soils, crops, and livestock. *Earth Science Frontiers*, v. 15, n. 5, 2008.

INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE. Micronutrientes no Brasil. 2019. Disponível em: <[www.ipni.net/nutrifacts-brasil](http://www.ipni.net/nutrifacts-brasil)>. Acesso em: 21 de outubro 2023.

BRDAR-JOKANOVIĆ, M. Boron Toxicity and Deficiency in Agricultural Plants. *International Journal of Molecular Sciences*, v. 21, n. 4, p. 1424, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms21041424>.

KANWAR, J. S.; RANDHAWA, N. S. Micronutrient Research in Soils and Plants in India: a Review. 2nd ed. New Delhi, India: Indian Council of Agric. Res., 1974.

KHALIQ, M. A.; JAMES, B.; CHEN, Y. H.; AHMED SAQIB, H. S.; LI, H. H.; JAYASURIYA, P.; GUO, W. Uptake, translocation, and accumulation of Cd and its interaction with mineral nutrients (Fe, Zn, Ni, Ca, Mg) in upland rice. *Chemosphere*, v. 215, p. 916-924, 2019.

LANDI, M.; MARGARITOPPOULOU, T.; PAPADAKIS, I. E.; ARANITI, F. Boron toxicity in higher plants: an update. *Planta*, p. 1011-1032, 2019.

LEPSCH, I. F. 19 lições de pedologia. São Paulo: Oficina de Textos, 2021.

LOPES, A.S. Micronutrientes: filosofias de aplicação e eficiência agrônômica. São Paulo: ANDA, 1999. 72p. (Boletim Técnico, 8).

MASCARENHAS, H. A. A.; ESTEVES, J. A. F.; WUTKE, E. B.; RECO, P. C.; LEÃO, P. C. L. Deficiência e toxicidade visuais de nutrientes em soja. *Nucleus*, v. 10, n. 2, p. 26, 2013. DOI: 10.3738/1982.2278.974.

MELLO, F. de A.; BRASIL SOBRINHO, M. de O. C.; ARZOLLA, S.; SILVEIRA, R. I.; COBRA NETO, A.; KIEHL, J. de C. Fertilidade do solo. São Paulo: Nobel, 1983. 400 p.

MOREIRA, S. G.; PROCHNOW, L. I.; PAULETTI, P.; SILVA, B. M.; KIEHL, J. C.; SILVA, C. G. M. Effect of liming on micronutrient availability to soybean grown in soil under different lengths of time under no tillage. *Acta Scientiarum. Agronomy Maringá*, v. 39, n. 1, p. 89-97, 2017.

OLIOSI, G.; GILES, J. A. D.; RODRIGUES, W. P.; RAMALHO, J. C.; PARTELLI, F. L. Microclimate and development of *Coffea canephora* cv. *Conilon* under different shading levels promoted by Australian cedar (*Toona ciliata* M. Roem. var. *Australis*). *Australian Journal of Crop Science (Online)*, v. 10, p. 528-538, 2016.



PATGIRI, P.; SWAMI, S.; SINGH, T. D.; SATYA, M. S. S. C.; YUMNAM, V.; MOHANTY, S.; MEENA, T. Boron availability as influenced by soil physico-chemical properties. In: Boron availability as influenced by soil physico-chemical properties. Chapter 13, p. 12-31, 2020. School of Natural Resource Management, Post Graduate College of Agricultural Sciences, Central Agricultural University, Umiam (Barapani) -793 103, Meghalaya, India.

PEREIRA, G. L.; SIQUEIRA, J. A.; BATISTA-SILVA, W.; CARDOSO, F. B.; NUNES-NESE, A.; ARAÚJO, W. L. Boron: More Than an Essential Element for Land Plants? *Frontiers in Plant Science*, v. 11, p. 610307, 2020. DOI: 10.3389/fpls.2020.610307.

RAIJ, B. Van. Fertilidade do solo e manejo de nutrientes. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; ABREU, C.A. Interpretação de resultados de análise de solo. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. p.8-13.

REHMAN, A. U.; FAROOQ, M.; RASHID, A.; NADEEM, F.; STUERZ, S.; ASCH, F.; BELL, R. W.; SIDDIQUE, K. H. M. Boron nutrition of rice in different production systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, v. 38, n. 3, p. 25, 2018. DOI: 10.1007/s13593-018-0504-8.

RENGEL, Z. Availability of Mn, Zn and Fe in the rhizosphere. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, v. 15, n. 2, p. 397-409, 2015.

RESENDE, A. V. Micronutrientes na agricultura brasileira: disponibilidade, utilização e perspectivas. São Paulo: CETEM/MCT, 2005. 36 p.

SILVA, D. J.; FARIA, C. M. B.; MENDES, A. M. S.; MORAIS, A. T. Potencial de rochas silicáticas potássicas no fornecimento de micronutrientes para soja. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 16., 2006, Aracaju. Resumos e palestras... Aracaju: SBCS; UFS: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2006.

SOUSA, D. M. G. Principais aspectos da fertilidade do solo sob plantio direto. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BÁSICOS DE FERTILIDADE E MICROBIOLOGIA DO SOLO SOB PLANTIO DIRETO, 1., 1998, Rio Verde. Resumos de palestras. Passo Fundo: Aldeia Norte, 1998. p. 72-77.

SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. Soja: correção do solo e adubação. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1998. 30p. (Plano de Safra 1998/ 99).

VOLKWEISS, S.J. Fontes e métodos de aplicação. In FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (eds.). *Micronutrientes na agricultura*. Piracicaba: POTAFOS / CNPq, 1991. p.391-412.