

## Adubação com Micronutrientes no Cerrado





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Embrapa Cerrados  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1517-5111

Fevereiro, 2003

# **Documentos 80**

## **Adubação com Micronutrientes no Cerrado**

Álvaro Vilela de Resende

Planaltina, DF  
2003

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Cerrados**

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73310-970 Planaltina - DF

Fone: (61) 388-9898

Fax: (61) 388-9879

<http://www.cpac.embrapa.br>

[sac@cpac.embrapa.br](mailto:sac@cpac.embrapa.br)

**Comitê de Publicações**

Presidente: *Dimas Vital Siqueira Resck*

Editor Técnico: *Carlos Roberto Spehar*

Secretária-Executiva: *Nilda Maria da Cunha Sette*

Supervisão editorial: *Jaime Arbués Carneiro*

Revisão de texto: *Maria Helena Gonçalves Teixeira*

Normalização bibliográfica: *Shirley da Luz Soares*

Capa: *Chaile Cherne Soares Evangelista*

Editoração eletrônica: *Jussara Flores de Oliveira*

Impressão e acabamento: *Divino Batista de Souza*

*Jaime Arbués Carneiro*

Impresso no Serviço Gráfico da Embrapa Cerrados

**1ª edição**

1ª impressão (2003): tiragem 100 exemplares

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.  
Embrapa Cerrados.

---

R331a Resende, Álvaro Vilela de

Adubação com micronutrientes no Cerrado / Álvaro Vilela de Resende. – Planaltina, DF : Embrapa Cerrados, 2003.

43 p. – (Documentos / Embrapa Cerrados, ISSN 1517-5111; 80)

1. Adubação. 2. Micronutrientes. 3. Cerrado. Título. III. Série.

631.4 - CDD 21

# Autor

**Álvaro Vilela de Resende**

Eng. Agrôn., D.Sc., Fertilidade do Solo

Embrapa Cerrados

alvaro@cpac.embrapa.br

# Apresentação

Desde o início da abertura do Cerrado como fronteira agrícola, a correção de deficiências de micronutrientes tem-se constituído aspecto fundamental no manejo das lavouras. Com a crescente expansão da área cultivada em diferentes ecossistemas desse bioma, surgem novas situações e problemas a serem contornados.

Contudo, apesar da reconhecida importância da adubação com micronutrientes, o tema não é satisfatoriamente contemplado nas ações de pesquisa e várias questões vêm sendo tratadas sem o devido respaldo científico.

O conhecimento sobre o que já se evoluiu no assunto é fator precípuo na definição de prioridades e no direcionamento dos esforços de pesquisa com micronutrientes. Nesta revisão, procurou-se reunir informações geradas até o momento, no contexto da exploração do Cerrado, especialmente para a produção de grãos.

*Roberto Teixeira Alves*  
Chefe-Geral da Embrapa Cerrados

# Sumário

Apresentação .....	5
Introdução .....	9
Histórico da Pesquisa com Micronutrientes na Região do Cerrado .....	10
Adubação com Micronutrientes em Solos de Cerrado .....	15
Análises de Solo e da Planta .....	16
Fontes, Doses, Formas de Aplicação e Efeito Residual .....	22
Métodos de adubação .....	24
Particularidades .....	26
Melhoramento Genético e Biotecnologia .....	27
Necessidade de Pesquisa .....	30
Referências Bibliográficas .....	31
Abstract .....	43

# Adubação com Micronutrientes no Cerrado

---

## Introdução

Por definição, os micronutrientes boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e molibdênio (Mo) são nutrientes requeridos em quantidades muito pequenas pelas plantas. Embora não seja essencial aos vegetais, o cobalto (Co) é fornecido com os micronutrientes para plantas leguminosas, pois se trata de um elemento necessário ao adequado funcionamento da simbiose rizóbio-leguminosa, possibilitando a ocorrência do processo de fixação biológica do nitrogênio nos sistemas agrícolas. Outros elementos químicos, como o silício (Si) e o níquel (Ni), são considerados úteis para as plantas, uma vez que podem promover efeitos favoráveis ao crescimento, apesar de não terem propriamente uma função de nutriente.

Com a efetiva exploração agrícola do Cerrado a partir da década de 1960, foram conduzidos os primeiros experimentos visando à detecção de deficiências nos solos e respostas das culturas ao fornecimento de micronutrientes. Inicialmente foi identificada a necessidade de adubar-se com determinados micronutrientes, freqüentemente Zn e B, em situações específicas de solos e culturas. Os ganhos de produtividade obtidos nos experimentos em diferentes condições eram muito variáveis e, algumas vezes, inexistentes.

Contrastando com as respostas iniciais isoladas, com o passar do tempo, consolidou-se a prática de fertilização com Zn, B e Cu, de maneira generalizada, como forma de garantir produtividades satisfatórias das diversas culturas. Isso se

deu em virtude de fatores como: o esgotamento das reservas do solo pelo cultivo sucessivo e intensivo das áreas de maior fertilidade; o estabelecimento de lavouras em áreas de solos originalmente pobres; o crescente uso de fertilizantes concentrados que não contêm micronutrientes como impurezas; a redução da disponibilidade de micronutrientes catiônicos decorrente de calagem inadequada, com aumento excessivo do pH do solo; e a maior exportação de nutrientes devido ao uso de variedades mais produtivas e ao emprego de técnicas agrônomicas que proporcionam produtividades cada vez mais elevadas.

Estudos permitiram quantificar a disponibilidade de micronutrientes em diferentes tipos de solo e estimar as demandas e doses apropriadas de fertilizantes para as principais culturas da Região do Cerrado. Informações sobre a eficiência agrônômica das fontes e dos modos de aplicação de micronutrientes têm sido disponibilizadas. A análise foliar tornou-se importante ferramenta para avaliação do estado nutricional das plantas em relação aos micronutrientes.

Entretanto, em decorrência da relativa escassez de trabalhos de pesquisa com micronutrientes nos diversos enfoques pertinentes, muito ainda está por ser estudado. Há necessidade de aprimoramento das informações referentes às áreas cultivadas há décadas, assim como de pesquisa de base sobre disponibilidade e resposta a micronutrientes em áreas e culturas recém-incorporadas à exploração agrícola da região.

Nesta revisão, procura-se abordar a evolução da pesquisa com micronutrientes nas condições edafoclimáticas do Cerrado, destacando os aspectos conclusivos, amplamente comprovados, bem como as necessidades e perspectivas de estudos futuros.

## **Histórico da Pesquisa com Micronutrientes na Região do Cerrado**

De acordo com [Freitas et al. \(1963\)](#), até aquela época, a Região do Cerrado apresentava baixa densidade populacional e não havia exploração agrícola, servindo apenas para criação extensiva de gado, sem contribuição expressiva para a economia agrícola do Brasil.



Há tempos são discutidas as limitações ambientais ao crescimento vegetal nessa região. Na segunda metade do século XX, foram desenvolvidos estudos no Brasil Central que buscavam associar os padrões da vegetação natural com as características dos solos. Trabalhos como os de [Alvim & Araújo \(1952\)](#); [Arens \(1958, 1963\)](#); [Goodland \(1971\)](#); [Lopes & Cox \(1977a\)](#) e [Goodland & Ferri \(1979\)](#) relatam correlações positivas da densidade e porte da vegetação nativa com o pH, teores de carbono e matéria orgânica e disponibilidade de macro e micronutrientes (Zn, Cu e Mn) no solo, o contrário ocorrendo para a saturação por alumínio.

Agronomicamente, a elevada acidez e a pobreza generalizada de nutrientes são as características mais marcantes dos solos que ocorrem nessa região ([Lopes, 1983](#)). [Hardy, \(1962\)](#) já apontava a baixa disponibilidade de Zn como fator limitante à agricultura em solos de Cerrado e indicava a necessidade de aplicação de micronutrientes.

Em diferentes condições de solo, cultura e práticas de manejo, diversos fatores podem interferir na resposta à adubação. Ao considerar os primeiros experimentos com micronutrientes no Cerrado, verifica-se que muitas vezes os resultados pareciam inconsistentes, indicando não haver benefícios da adubação. A condução de ensaios em solos recém-desbravados ou em solos de maior fertilidade natural, o plantio de culturas menos exigentes, a presença de micronutrientes em outros insumos e as baixas produtividades inicialmente obtidas reduziam ou mascaravam os efeitos do fornecimento de micronutrientes.

Entre os trabalhos pioneiros, pode-se citar o de Freitas et al. (1959) citado por [Buzetti et al. \(1982\)](#) que verificaram resposta a Zn e Mo em condições de casa de vegetação e o de McClung et al. (1961) citado por [Galvão \(1986\)](#) que obtiveram 8% de aumento em produção do algodoeiro pela aplicação de Mo. [Freitas et al. \(1963\)](#) observaram resposta a Zn, B e Mo, aplicados em conjunto, para algodão e milho em Latossolo Vermelho-Escuro, Latossolo Vermelho-Amarelo e Regossolo de Cerrado em São Paulo. Nesse mesmo estudo, a soja não respondeu ao fornecimento de micronutrientes.

[Brito et al. \(1971\)](#) encontraram respostas a micronutrientes, principalmente o Zn, em Latossolo Vermelho-Escuro cultivado com milho. Para o algodão e a soja, o Zn tendeu a aumentar a produtividade, porém, não houve diferença significativa entre os tratamentos com micronutrientes. As respostas da soja a Zn, Cu, B, Mn,

Mo e Fe também não foram significativas em Latossolo Roxo ([Mascarenhas et al., 1967](#)) e mesmo em solo arenoso ([Miyasaka et al., 1964](#)) de Cerrado em São Paulo, porém, as produtividades alcançadas não chegaram 1,9 t ha<sup>-1</sup> de grãos. Esses autores também citam outros trabalhos nos quais não se obtiveram respostas em áreas de Cerrado recém-desbravadas.

A adição de micronutrientes (Zn, Cu, B e Mo) ao NPK + enxofre para a soja não proporcionou ganho de produtividade em solo originado do Arenito Botucatu ([Miyasaka et al., 1964](#)). [Mascarenhas et al. \(1973\)](#) não encontraram resposta da cultura à aplicação de micronutrientes (Zn, Cu, B, Mo), em conjunto ou isoladamente, na Alta Mojiana e em Botucatu-SP, atribuindo o fato à presença de micronutrientes como impurezas nos calcários e superfosfatos, o que mascarava as respostas aos tratamentos.

No Triângulo Mineiro, [Reis et al. \(1977\)](#) verificaram resposta ao uso de “fritas” (fertilizante contendo micronutrientes – FTE BR-9) em Latossolo Roxo cultivado com soja. Entretanto, [Martins & Braga \(1977\)](#), estudando essa cultura em cinco latossolos dessa região, observaram toxidez de Mn em Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Roxo distrófico. Não foram verificadas diferenças de produção de matéria seca pela aplicação de Cu, Zn, Co, Mo e Fe. A resposta a B foi detectada somente num dos solos.

[Suhet & Neptune \(1979\)](#) estudaram doses de Fe e Zn, juntos ou separados, para o feijoeiro cultivado em Terra Roxa estruturada, Latossolo Vermelho-Escuro e Podzólico Vermelho-Amarelo em casa de vegetação e não observaram influência na produção de matéria seca da planta. Para o abacaxi, a aplicação de micronutrientes afetou negativamente a produção ([Santos et al., 1971](#)).

Num dos trabalhos mais abrangentes de levantamento da fertilidade dos solos de Cerrado, [Lopes & Cox \(1977b\)](#) analisaram 518 amostras coletadas em áreas sob vegetação nativa nos Estados de Minas Gerais, Goiás e Tocantins, confirmando que os solos da região são naturalmente deficientes em Zn e apresentam níveis adequados ou mesmo altos de Fe e Mn. A maioria das amostras de solo apresentou disponibilidade de Zn abaixo de 0,8 mg dm<sup>-3</sup>, e os níveis críticos sugeridos para Zn e Cu foram de 1 mg dm<sup>-3</sup> ([Lopes, 1975](#)). A disponibilidade de B não foi avaliada nesse levantamento.

À medida que a fronteira de exploração do Cerrado avançou de São Paulo em direção ao Brasil Central, tornou-se nítida a necessidade de fornecimento de Zn,

especialmente para culturas como o milho e o arroz, mais sensíveis à deficiência. Posteriormente, o B mostrou ser o segundo micronutriente mais importante na adubação das culturas nessa região. [Franco \(1978\)](#) já afirmava que a falta de resposta aos macronutrientes em solos de Cerrado poderia ser devida à deficiência de micronutrientes.

No Distrito Federal, [Eira et al. \(1972\)](#) não obtiveram resposta do milho em casa de vegetação ao fornecimento Zn, Cu, B, Fe e Mo em solo podzólico de Brasília. Por sua vez, de acordo com [Lobato et al. \(1972\)](#), um dos primeiros experimentos na área da Embrapa Cerrados já evidenciava resposta do milho-doce e da soja à aplicação conjunta de Zn, B, Mo, Cu e Mn. Nos tratamentos sem os micronutrientes, as plantas apresentavam sintomas de deficiência de Zn e, embora as parcelas de milho apresentassem número razoável de plantas, produziram pouquíssimas espigas.

Em solos de Goiás, [Valladares et al. \(1971\)](#) relataram deficiência de Zn em arroz. A adubação com Zn resultou no aumento de produção de até 148% em relação aos tratamentos que não receberam o micronutriente. A calagem em áreas sem adubação acentuava o bronzeamento das plantas, sintoma típico da deficiência de Zn.

Em estudos de campo e de casa de vegetação, [Fageria & Zimmermann \(1979\)](#) verificaram que a interação de 150 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> com 4 t ha<sup>-1</sup> de calcário prejudicou o arroz devido à indução de deficiência de Zn, quando não se forneceu o micronutriente. Entretanto, a resposta à aplicação de Zn somente ocorreu quando se utilizou um Latossolo Vermelho-Amarelo em Planaltina-DF. É preciso destacar, contudo, que a maior produtividade obtida foi de apenas 553 kg ha<sup>-1</sup>.

Para a cultura do trigo em solos de várzea no Cerrado de Minas Gerais, [Coqueiro et al. \(1972\)](#) observaram que um coquetel de micronutrientes aumentava a produção, reduzindo o chochamento das espigas, distúrbio que posteriormente foi associado à ocorrência de esterilidade masculina na planta. Inicialmente não se tinha certeza sobre qual micronutriente resolvia o problema de esterilidade, mas sabia-se que o melhor fertilizante para controlá-lo era o FTE BR-12 ([Silva, 1980](#)). Confirmou-se, em estudos subseqüentes, que o chochamento pode ser devido a determinadas condições climáticas e, ou, à carência de micronutrientes e que o B é o micronutriente que reduz a esterilidade do trigo, sendo sua

aplicação, com essa finalidade, recomendada no cultivo em solos de várzea e de terras altas do Cerrado ([Silva & Andrade, 1983](#)).

Em trabalho dos mais detalhados até então, [Galvão et al. \(1978\)](#) estudaram seis micronutrientes e o Co. Somente foi observada perda de produtividade (90%) quando o Zn foi omitido da adubação de arroz em Latossolo Vermelho-Escuro pobre nesse nutriente. Para o Cu, não foram obtidas respostas em solos de Cerrado, mesmo naqueles em que o teor disponível estava abaixo do nível crítico de  $1 \text{ mg dm}^{-3}$  proposto por [Lopes \(1975\)](#).

Em 1981, o Programa Nacional de Pesquisa para a Região do Cerrado ainda não explicitava, como prioridade de estudo, temas envolvendo especificamente micronutrientes. Eram exemplos de prioridades a avaliação da eficiência de fontes de P e calibração de métodos de análise de solos para P e K e recomendação de calcário ([Embrapa, 1981](#)).

Entre os micronutrientes, sem dúvida, foi a adubação com Zn que propiciou maior resposta de várias culturas em experimentos de campo e de casa de vegetação ([Galvão, 1988](#)). ([Tinker, 1988](#)) considerava que apenas o Zn era limitante até aquela época. Esse parecia ser o único micronutriente cuja deficiência generalizada e necessidade de aplicação haviam sido amplamente comprovadas nos solos de Cerrado. Resposta a B era obtida em alguns solos, mas outros micronutrientes não mostravam deficiência, sugerindo que sua disponibilidade era satisfatória ([Lopes, 1986](#)). Entretanto, esse autor já ressaltava que, com o cultivo contínuo, problemas principalmente com a carência de Cu, B e Mo deveriam surgir.

[Galvão \(1986, 1988\)](#) reporta-se a várias constatações importantes de uma série de estudos conduzidos na Embrapa Cerrados e que ainda hoje constituem subsídios técnicos para as recomendações de manejo da adubação para a região:

- i) a aplicação de  $6,0 \text{ kg ha}^{-1}$  de Zn foi suficiente para quatro colheitas em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso, demonstrando pronunciado efeito residual da adubação com esse micronutriente; ii) o excesso de calcário reduziu a produção por induzir deficiência de Zn; iii) não se observou diferença entre óxido, sulfato e fritas (FTE) como fontes de Zn para o milho. Em relação aos outros micronutrientes, o pesquisador destaca os seguintes resultados:
- i) a aplicação de  $1,3 \text{ kg ha}^{-1}$  de B no sulco de plantio reduziu a intensidade de chochamento do trigo, com aumento de 80% de rendimento de grãos;

iii) o Mo favoreceu a produção de pastagem consorciada de andropogon e estilosantes; iii) o Co aumentou o tamanho e o peso dos nódulos da soja, mas a quantidade necessária pode estar presente nos tecidos de reserva das sementes; iv) não se obteve resposta a Cu, Fe e Mn para culturas como arroz, milho ou soja.

[Galvão \(1986\)](#) enfatiza que, até então, não existiam estudos específicos para se avaliar o efeito de doses e para a determinação de níveis críticos de Cu, além disso, o uso de defensivos cúpricos poderia mascarar respostas ao fornecimento e suprir parcial ou totalmente as culturas. Não havia sugestão de nível crítico de Fe, não tendo sido encontradas respostas à adubação em solos argilosos. A maioria dos solos seria bem suprida de Mn, mas os níveis críticos desse micronutriente para o Cerrado não eram conhecidos.

Mais recentemente, muitos relatos comprovaram o agravamento da problemática de deficiências ou desbalanços nutricionais envolvendo micronutrientes em solos de Cerrado. Como se verá no decorrer desta revisão, as respostas ao fornecimento de outros micronutrientes, além do Zn e B, têm sido cada vez mais freqüentes, como no caso, por exemplo, das deficiências de Cu e Mn na soja que inicialmente não ocorriam e hoje são motivo de constante preocupação no manejo das lavouras.

## Adubação com Micronutrientes em Solos de Cerrado

[Lopes \(1986\)](#) destacou a existência de efeitos positivos, nulos e detrimentalis à aplicação de micronutrientes, havendo, em termos de respostas, grande especificidade local em relação a solos e a culturas. Segundo [Galvão \(1998\)](#), de modo geral, as respostas mais freqüentes à adubação com micronutrientes em solos de Cerrado são para Zn (arroz, milho, soja, café), Cu (soja, trigo, estilosantes), B (algodão, soja, trigo) e Mo (pastagem consorciada de *Andropogon* e *Stylosanthes capitata*).

Uma coletânea de recomendações de manejo da adubação com micronutrientes para diversas culturas é apresentada em [Galvão \(2002\)](#). É preciso ressaltar, entretanto, que há grande discrepância em relação ao nível de detalhamento de tais informações para diferentes culturas. Para algumas dessas culturas, dispõe-se de razoável conhecimento, respaldado por resultados de pesquisa, enquanto outras não foram ainda suficientemente estudadas nas condições do Cerrado.

Conceitualmente, três filosofias de adubação têm sido definidas conforme os critérios utilizados para a determinação das doses de micronutrientes a serem fornecidas. A **filosofia de segurança** consiste na aplicação de quantidades pré-definidas de micronutrientes sem considerar dados de análises de solo e da planta, sendo, portanto, uma forma mais empírica de manejo. Quando tais dados de análise são devidamente utilizados, consegue-se considerável refinamento das recomendações de adubação, caracterizando a **filosofia de prescrição**. A **filosofia de restituição** é baseada nas taxas de exportação de nutrientes pelas colheitas, sendo adequada especialmente a lavouras de alta produtividade. A situação ideal seria associar as filosofias de prescrição e de restituição, o que requer o emprego de dados experimentais de calibração de análises de solo e da planta associados ao conhecimento das taxas de remoção de micronutrientes na colheita de cada cultura e da eficiência agrônômica dos fertilizantes contendo micronutrientes ([Lopes, 1999](#)). Como há poucos estudos coordenados nesse sentido, a adubação de segurança é ainda a mais difundida, consistindo na aplicação a lanço, a cada quatro ou cinco anos, de 6 kg ha<sup>-1</sup> de Zn, 6 kg ha<sup>-1</sup> de Mn, 1-2 kg ha<sup>-1</sup> de B, 1-2 kg ha<sup>-1</sup> de Cu e 0,25-0,40 kg ha<sup>-1</sup> de Mo ([Comissão de Fertilidade do Solo de Goiás, 1988](#); [Galvão, 2002](#)).

A soja, o milho e o arroz são as culturas-símbolo da exploração do Cerrado e por isso têm sido intensamente estudadas. Muita informação foi gerada sobre o manejo nutricional de maneira que protocolos experimentais e temas de pesquisa trabalhados para essas culturas podem nortear os estudos com outras espécies menos conhecidas na região. A adubação com micronutrientes vem sendo aprimorada a cada dia, e vários aspectos da nutrição mineral e das tecnologias de utilização de micronutrientes naquelas culturas representam a vanguarda do conhecimento sobre o assunto no Brasil, podendo servir de referencial para se aferir a evolução da pesquisa com outras plantas.

Nos tópicos seguintes desta revisão serão abordados detalhes dos procedimentos de manejo da adubação com micronutrientes que vêm sendo recomendados para o Cerrado.

## Análises de Solo e da Planta

A análise de solo é a referência para o dimensionamento da aplicação de micronutrientes em áreas que nunca foram adubadas. A partir de então, a conveniência de uma adubação complementar deve ser confirmada por meio da

análise foliar ([Sousa, 1998](#)). Nas análises de solos para micronutrientes, basicamente, tem-se utilizado os extratores Mehlich 1 ou DTPA na determinação dos teores disponíveis de Cu, Fe, Mn e Zn, enquanto, na análise foliar, determinam-se os teores totais no extrato de digestão nítrico-perclórica do material vegetal. A disponibilidade de B no solo é determinada depois da extração com água quente e o teor na planta depois da incineração das folhas.

Normalmente, os níveis críticos de micronutrientes no solo e na planta são distintos conforme a espécie cultivada e o próprio tipo de solo. Em alguns estados da Região do Cerrado, foram estabelecidos valores de referência para interpretação de análise de solo e foliar ([Lopes, 1999](#)), definidos com base na experimentação local ou, muitas vezes, por extrapolação de dados obtidos de outras regiões ou do exterior. Para culturas menos pesquisadas, essas informações podem ser até mesmo inexistentes.

Provavelmente em função do número relativamente pequeno de estudos realizados até o momento, em geral, há certa semelhança entre os níveis críticos de micronutrientes no solo, propostos por diferentes autores para a Região do Cerrado ([Tabela 1](#)). Essa semelhança parece estender-se também aos níveis críticos na planta, como pode ser constatado nas informações relativas à cultura da soja ([Tabela 2](#)), sendo que muitos dos valores propostos nas publicações nacionais são similares aos que haviam sido indicados por [Peck \(1979\)](#) com base em resultados de pesquisa estrangeira. Todavia, variações de níveis críticos no solo e na planta têm sido detectadas para diferentes locais e culturas ([Fageria, 1998](#); [Borkert et al., 2001](#); [Embrapa, 2001](#); [Hitsuda et al., 2001](#); [Borkert et al., 2002](#); [Sfredo et al., 2002](#); [Pereira et al., 2002a,b](#)), sugerindo a conveniência de estudos específicos, em que se considerem as condições de solo, clima, cultivares, manejo e produtividade. Essa carência de pesquisa é notada principalmente quando se busca maior refinamento na avaliação nutricional e na adubação das culturas em sistemas de alta produtividade.

Lopes (1986) salienta que a “universalidade” dos níveis críticos é um aspecto questionável. Em função dos múltiplos fatores que interferem na dinâmica e na disponibilidade dos micronutrientes, depreende-se a importância dos estudos de calibração de métodos de análises de solo e de plantas nas diferentes condições edafoclimáticas encontradas no Cerrado. Paradoxalmente, pouca pesquisa foi direcionada para essa finalidade até o momento ([Galvão, 2002](#)), situação que se agrava pelo avanço contínuo da fronteira agrícola para novas áreas e pela enorme extensão territorial da região.

Existem vários empecilhos à aplicabilidade dos resultados de análise, pelo fato de os extratores utilizados nas análises laboratoriais nem sempre serem adequados a qualquer situação de solo e manejo. A solução Mehlich 1, por exemplo, pode extrair micronutrientes complexados, adsorvidos e de formas não-lábeis presentes no solo ([Rajj & Bataglia, 1991](#)).

**Tabela 1.** Faixas de disponibilidade consideradas adequadas na interpretação de análise de solo para micronutrientes, segundo diferentes fontes de consulta.

	Rajj et al. (1996) <sup>1</sup>	Alvarez V. et al. (1999) <sup>2</sup>	Galvão (1999) <sup>2</sup>	Sousa & Lobato (1998) <sup>2</sup>	Amplitude de valores <sup>3</sup>
B <sup>4, 5</sup>	0,21-0,60	0,36-0,60	0,3-0,5	0,5	0,3-0,6
Cu <sup>6</sup>	0,3-0,8	0,8-1,2	0,5-0,8	0,5	0,5-1,2
Fe	5-12	19-30	-	-	19-30
Mn <sup>7</sup>	1,3-5,0	6-8	2-5	5	2-8
Zn <sup>8</sup>	0,6-1,2	1,0-1,5	1,1-1,6	1	1,0-1,6

<sup>1</sup> Extrator DTPA para Cu, Fe, Mn e Zn.

<sup>2</sup> Extrator Mehlich 1 para Cu, Fe, Mn e Zn.

<sup>3</sup> Dados referentes ao extrator Mehlich 1.

<sup>4</sup> Extração com água quente.

<sup>5</sup> Nível crítico adequado para a soja no Mato Grosso seria de 0,13 mg dm<sup>-3</sup> ([Pereira et al., 2002a](#)).

<sup>6</sup> Faixa adequada para a soja no Mato Grosso seria de 1,6-2,4 mg dm<sup>-3</sup> ([Sfredo et al., 2002](#)).

<sup>7</sup> Nível crítico adequado para a soja no Mato Grosso seria de 12,5 mg dm<sup>-3</sup> ([Pereira et al., 2002b](#)).

<sup>8</sup> Nível crítico adequado para a soja no Mato Grosso seria de 2,5 mg dm<sup>-3</sup> ([Borkert et al., 2002](#)).

**Tabela 2.** Faixas de teores adequados de micronutrientes para interpretação de análise foliar da soja, segundo diferentes fontes de consulta.

	Ambrosano et al. (1996) <sup>1,2</sup>	Embrapa (1996) <sup>1,2</sup>	Malavolta et al. (1997) <sup>1</sup>	Martinez et al. (1999)	Galvão (1999)	O.C. Martins citado por Vitti & Trevisan (2000) <sup>2</sup>	Fundação MS citado por Vitti & Trevisan (2000) <sup>2</sup>	Peck (1979) <sup>1</sup>	Amplitude de valores
B	21-55	21-51	21-55	20	21	44	64	21-55	20-64
Cu <sup>3</sup>	10-30	10-40	10-30	10	4	10	8	10-30	4-40
Fe	50-350	51-350	51-350	50	-	128	155	51-350	50-350
Mn	20-100	21-100	21-100	20	20	62	71	21-100	20-100
Mo	1-5	1-5	-	-	-	-	-	1-5	1-5
Zn	20-50	21-50	21-50	20	20	45	51	21-50	20-50

<sup>1</sup> Nível crítico é o limite inferior da faixa.

<sup>2</sup> Nível crítico para produtividades acima de 60 sc ha<sup>-1</sup>.

<sup>3</sup> Sugestão de faixa adequada de 6-14 mg kg<sup>-1</sup> ([Embrapa, 2001](#)).



Além dos teores de micronutrientes determinados por extratores, outros fatores devem ser considerados na avaliação da sua disponibilidade. Na Tabela 3 tem-se um resumo das principais condições que favorecem a ocorrência de deficiências de micronutrientes. Quando o solo não é naturalmente desprovido de micronutrientes devido à pobreza do material de origem, as causas de deficiência estão ligadas às reações de adsorção e de precipitação com constituintes do solo ou mudança no estado de oxidação do micronutriente, reduzindo sua solubilidade. As deficiências podem ser devidas também à remoção dos nutrientes para fora da zona de crescimento radicular pelo processo de lixiviação.

**Tabela 3.** Condições de maior probabilidade de deficiência de micronutrientes.

Micronutriente	Condições que favorecem deficiência*
Boro	solos arenosos; alta pluviosidade; veranicos e estação seca; baixos teores de matéria orgânica; pH fora da faixa de 5,0 a 7,0.
Cobre	solos orgânicos; pH fora da faixa de 5,0 a 6,5; níveis elevados de outros íons metálicos como Fe, Al e Mn; doses elevadas de N.
Ferro	calagem excessiva (pH elevado); solos encharcados, excesso de outros metais como Mo, Cu e Mn; excesso de P; pH fora da faixa de 4,0 a 6,0.
Manganês	calagem excessiva (pH elevado); solos arenosos; solos orgânicos; excesso de Ca, Mg e K; níveis elevados de Fe, Cu e Zn; pH fora da faixa de 5,0 a 6,5.
Zinco	calagem excessiva (pH elevado); altos níveis de P, matéria orgânica elevada; solos arenosos (baixa CTC); pH fora da faixa de 5,0 a 6,5.
Molibdênio	solos ácidos (pH menor que 5,5); solos arenosos; doses pesadas de sulfatos; níveis elevados de Cu.

Fonte: Adaptado de [Araújo \(1998\)](#) e [Lopes \(1999\)](#).

\*Itens sublinhados representam as condições mais comumente associadas aos problemas de deficiência no Brasil.

Um aspecto básico a considerar refere-se ao pH do solo. Valores de pH em água acima de 6,0 e saturação por bases maior que 50% provocam redução na disponibilidade dos micronutrientes catiônicos Cu, Fe, Mn e Zn ([Sousa, 1998](#)). A calagem excessiva indisponibiliza esses micronutrientes pela formação de óxidos, cuja solubilidade vai depender do pH ([Volkweiss, 1991](#)). No final da década de 1980, muitas áreas do Cerrado apresentavam saturação por bases de até 70%-90% e pH 6,6-7,0, o que era decorrente, entre outras causas, da recomendação de calagem sem a análise do solo ([Sousa, 1996](#)).

Solos pobres em matéria orgânica e solo arenosos são mais propensos às deficiências, pois, além de não contarem com uma importante fonte de micronutrientes que é a matéria orgânica, a lixiviação é facilitada pela falta de cargas elétricas que permitiriam a retenção dos micronutrientes adicionados via adubação. Entretanto, teores elevados de matéria orgânica também podem levar à deficiência de cátions metálicos, principalmente o Cu. Isso se deve à formação de complexos orgânicos nos quais esse nutriente permanece fortemente retido. De acordo com ([Tanaka et al., 1993](#)), quanto maior o peso molecular do agente orgânico complexante, tanto menor será a disponibilidade de Cu para as plantas.

No sistema de plantio direto, existe tendência de acúmulo de nutrientes mais superficialmente no solo, por não haver revolvimento e homogeneização da camada arável. Nesse sistema, tem-se disseminado a amostragem do solo realizada apenas na profundidade de 0 a 10 cm, procedimento que pode ser insuficiente para avaliar a real disponibilidade de nutrientes. Os micronutrientes apresentam mobilidade no solo, notadamente o B que é facilmente lixiviado ([Lopes, 1999](#)). A mobilidade de Zn no perfil foi verificada até a camada de 20 a 40 cm de profundidade ([Silva et al., 1986](#); [Silva & Andrade, 1987](#)).

Interações antagônicas entre nutrientes são comuns e podem provocar problemas de desbalanço nutricional e deficiência de micronutrientes ([Dechen et al., 1991](#)). Altas concentrações de P podem induzir a carência de Zn, comprometendo o crescimento. Níveis elevados de Cu inibem fortemente a absorção de Zn e vice-versa. A absorção de Mo pode ser prejudicada por efeito competitivo do sulfato. Outros tipos de antagonismo são relatados na literatura, mas não foram ainda satisfatoriamente estudados.

A análise de solo tem a vantagem de permitir a avaliação da fertilidade do solo e a adoção de medidas corretivas antes do plantio da lavoura. Entretanto, não é

conveniente manejar a adubação com micronutrientes somente com base na análise do solo que, algumas vezes, leva a interpretações e recomendações duvidosas. Em virtude dos aspectos já comentados, a análise de solo para micronutrientes está sujeita a interferências, e sua interpretação ainda não foi satisfatoriamente aperfeiçoada. No caso do zinco, por exemplo, o nível crítico para o milho é de  $1 \text{ mg dm}^{-3}$  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 ao diagnóstico mais preciso do estado nutricional da lavoura que, em última instância, reflete a eficiência no manejo da adubação.

A análise foliar é de grande valia principalmente para plantas perenes porque, no caso de culturas anuais, o resultado da análise normalmente não permite corrigir uma deficiência ainda durante a safra, uma vez que a amostragem de folhas é efetuada já no período de florescimento. Assim, a análise foliar seria adequada como ferramenta de monitoramento de sistemas de produção de culturas anuais, não dispensando o uso da análise de solo e vice-versa. Ao indicar o que realmente foi absorvido, a análise foliar confirma a condição de deficiência, suficiência ou toxidez para a planta, permitindo aferir se o que foi detectado na análise do solo está coerente com o estado nutricional da lavoura.

Para culturas que normalmente são exploradas com alto grau de adoção de tecnologia, como é o caso da soja, a análise de solo é uma prática rotineira realizada pelos agricultores ([Roessing et al., 1996](#)). Entretanto, de modo geral, a análise do solo e, principalmente, das folhas, são técnicas ainda subutilizadas pelos agricultores do Cerrado.

Diante da limitação das recomendações tradicionais de adubação com micronutrientes, sobretudo, quando os sistemas de produção atingem certo nível de aprimoramento tecnológico, metodologias alternativas de diagnose e estratégias de manejo vêm sendo trabalhadas.

No caso específico do Mo, dependendo da espécie vegetal, a quantidade contida na semente já satisfaz a demanda da planta dela originada. Os níveis críticos nas sementes de milho e feijão são de 0,08 e 0,25  $\text{mg kg}^{-1}$ , respectivamente, conforme dados obtidos no exterior e compilados por [Galvão \(1998\)](#). A produção de sementes com boa reserva de Mo poderá ser uma opção viável para prevenir a deficiência.

O Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS) utiliza resultados de análises foliares de áreas referência de produtividade para identificar problemas nutricionais nas lavouras de outras áreas. O efetivo desenvolvimento desse sistema constitui desafio para a pesquisa. Conforme ressaltado por [Leandro et al. \(1999\)](#), uma das principais limitações da aplicação do DRIS é a necessidade de estabelecerem normas regionalizadas para evitar falsas diagnoses de deficiência ao serem utilizadas normas de países de clima temperado ou de regiões com alto suprimento de nutrientes na adubação.

## Fontes, Doses, Formas de Aplicação e Efeito Residual

O ideal, no manejo da adubação, seria integrar dados experimentais de calibração de métodos de análise de solo e de planta, definindo doses a serem aplicadas em função dos tetos de produtividade e de exportação de micronutrientes pela cultura. Contudo, a falta de informações sobre a eficiência das diversas fontes e modos de aplicação em solos e culturas distintos constitui entrave, pois, como consequência disso, mesmo dispondo-se de estimativas das quantidades de micronutrientes exportadas nas colheitas, não se consegue definir, de maneira precisa, as doses das diferentes fontes que podem ser usadas para repor o que foi exportado ([Lopes, 1999](#)).

Numa revisão de literatura, [Volkweiss \(1991\)](#) relatou diversos aspectos relacionados às características e à eficiência de diferentes fontes e modos de aplicação de micronutrientes. Alguns desses aspectos são resumidamente listados a seguir. Em geral, fontes solúveis (sais e quelatos) são mais caras, por unidade de nutriente, que as insolúveis (óxidos e fritas). As fritas ("Fritted Trace Elements" – FTE) devem ser aplicadas finamente moídas e se dissolvem lentamente no solo. O custo de se utilizar quelato via solo é muito elevado devido à grande quantidade necessária e ao alto preço desse produto. Os adubos orgânicos apresentam ampla variação nos teores de micronutrientes e podem aumentar a solubilidade daqueles já existentes no solo, mediante a formação de complexos solúveis com ânions de ácidos orgânicos.

Esse autor destaca que a correção da deficiência de B deve ser feita via solo, pois aplicações foliares precisam ser repetidas várias vezes por causa da baixa mobilidade do nutriente na planta. A aplicação de Mn em solos com pH elevado deve ser feita no sulco de plantio, pois a eficiência é maior que na adubação a

lanço. Aplicações de Zn na superfície, mesmo em linha, são pouco eficientes em virtude da sua baixa mobilidade no solo. A adubação continuada com Zn pode ser desnecessária em razão do efeito residual pronunciado das adubações com esse nutriente.

[Sousa \(1998\)](#) recomenda que, em áreas nunca adubadas, deve-se utilizar uma adubação corretiva que consiste em fornecer 4,0-6,0 kg Zn; 0,5-2,0 kg B; 1,0-4,0 kg Cu; 3,0-6,0 kg Mn; 200-400 g Mo e 100-300 g Co por hectare, na forma de fritas (em pó) ou sais aplicados a lanço e em seguida incorporados. Há ainda a alternativa de adicionar micronutrientes diretamente no sulco de plantio, aplicando-se um quarto das doses indicadas acima por quatro cultivos sucessivos, contudo, o rendimento no primeiro ano poderá ser limitado. Se o pH do solo estiver acima de 6,0 os quelatos são as únicas fontes eficientes ([Lopes, 1999](#)). Quando se dispõe apenas da análise de solo, se o teor do micronutriente for médio, deve ser aplicado apenas um quarto da dose usada na adubação corretiva a lanço e, se for alto, dispensa-se a adubação com micronutrientes. O residual da adubação corretiva é suficiente para quatro ou mais cultivos, sobretudo, em relação ao Cu e Zn ([Galvão, 2002](#)).

Alguns trabalhos comprovam que as respostas a micronutrientes, observadas nas áreas pioneiras no cultivo de soja no Cerrado (São Paulo, Minas Gerais e Goiás), não se confirmam em outros locais com esse mesmo tipo de vegetação, como é o caso de algumas áreas dos Estados do Maranhão, Piauí, Amapá e Roraima ([Gianluppi et al., 2000](#); [Klepker et al., 2000](#); [Gianluppi et al., 2002a,b,c](#)). Em Mato Grosso, foram observados níveis críticos de B, Cu e Mn que diferem bastante dos que têm sido considerados adequados para o Cerrado ([Tabela 1](#)) ([Sfredo et al., 2002](#); [Pereira et al., 2002a,b](#)). Essas situações reforçam a necessidade do desenvolvimento de ações de pesquisa local, em diferentes partes da Região do Cerrado.

Não é tarefa simples a análise comparativa dos resultados obtidos em diferentes experimentos testando fontes, doses e formas de aplicação de micronutrientes. Muitos 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. Dessa forma, há resultados controversos, dificultando conclusões consistentes.

Muitas vezes, os ganhos em produtividade pela adubação com micronutrientes são discretos, por isso, é preciso considerar que, o que é estatisticamente igual nos experimentos não significa, necessariamente, que não possa ser vantajoso para o agricultor. A relação custo/benefício, no contexto da propriedade agrícola, é que dará indicativo da viabilidade dos resultados experimentais. A falta de análise econômica de experimentos costuma ser uma grande falha nas pesquisas com micronutrientes.

Numa avaliação de experimentos com micronutrientes via semente, solo ou foliar, conduzidos em Londrina-PR, Balsas-MA e Rondonópolis-MT, foram obtidos ganhos absolutos em rendimento, mas sem diferenças estatísticas em relação à testemunha. Nesse estudo, comprovou-se que, quando foram utilizados fungicidas contendo Cu e Zn como constituintes, o tratamento fitossanitário supriu a exigência da soja nesses micronutrientes ([Sfredo et al., 1998](#)). [Broch \(1997a\)](#) obteve retorno econômico com o uso de produtos comerciais, fontes de micronutrientes, mas sem diferença significativa em relação à testemunha em Latossolo Roxo distrófico em Mato Grosso do Sul. Resultado semelhante foi observado em Uberaba-MG com aplicação foliar de Mo na soja, havendo efeito visual em algumas cultivares e tendência de aumento de produtividade, porém sem significância estatística ([Souza et al., 1997](#)).

A enorme diversidade de produtos comercializados como fonte de micronutrientes, muitos deles, coquetéis de vários nutrientes e outras substâncias para uso via solo, folha ou semente, são complicadores para as recomendações de adubação. Esse fato é agravado pela existência de falhas na legislação que trata das garantias dos fertilizantes. Em alguns casos, obtém-se ganho de produtividade, mas é difícil detectar qual nutriente propiciou esse ganho.

[Silva et al. \(2001\)](#) trabalhando com vários produtos comerciais contendo macro e micronutrientes e aminoácidos não obtiveram respostas para aplicações foliares na soja em Uberlândia-MG. Num estudo semelhante, [Sfredo et al. \(1996\)](#) detectaram resposta em produtividade até mesmo para a aplicação de água pura, com 19% de ganho em relação à testemunha, enquanto ganhos de 20% a 36% foram obtidos com diversos produtos comerciais multinutrientes. Esses autores associaram o incremento de produção à presença de Mo nos produtos.

## Métodos de adubação

Embora para culturas perenes a adubação foliar realizada simultaneamente à aplicação de defensivos seja prática rotineira, não há dúvida que, para culturas anuais, a melhor forma de aplicação de micronutrientes é via solo. Nesse caso, a

adubação foliar só é recomendada quando não foi feita aplicação no solo ou essa foi insuficiente ([Galvão, 1998](#)). Assim sendo, preferencialmente, a adubação foliar deve ser suplementar à via solo. Seu efeito residual é pequeno ou nulo. As aplicações foliares de micronutrientes feitas com os tratamentos fitossanitários são mais compensatórias em termos de custo ([Volkweiss, 1991](#)).

Esse autor cita os cuidados a serem observados e que evidenciam a complexidade da adubação foliar com micronutrientes, com vários fatores operacionais interferindo na sua eficiência. As soluções de aplicação devem conter menos de 1% de cada fonte e soluções com mais de 3% de concentração podem provocar queima das plantas. As aplicações devem ser feitas nas horas menos quentes do dia (manhã ou tarde) ou em dias com alta umidade no ar e no solo para evitar queimas. Gotas menores e uniformes são melhores (aplicação a baixo volume). A solução de micronutrientes deve ter pH entre 5 e 6. A uréia aumenta a absorção de Zn e outros micronutrientes pelas folhas. O ácido bórico e boratos são incompatíveis com sais de cobre. Fosfatos de amônio precipitam o Zn e o Cu e os sais de Zn são incompatíveis com substâncias oleosas.

Segundo [Lopes \(1999\)](#), pulverizações foliares de Zn em milho, Mn na soja e Mo em feijão podem dar bons resultados em relação à não-aplicação dos referidos micronutrientes. À exceção do Mn, a adubação foliar com outros micronutrientes não é recomendada para a soja, pois não se obtiveram resultados no Rio Grande do Sul, Paraná e Mato Grosso do Sul, sob diversas condições de solo, clima e métodos de aplicação ([Embrapa, 2001](#)). A aplicação de micronutrientes via foliar no arroz não compensa, pois, quando aparecem sintomas de deficiências, as plantas são ainda muito jovens e não possuem área foliar para absorção, sendo necessárias várias aplicações ([Barbosa Filho et al., 1999](#)). Exemplos de respostas a doses, fontes e procedimentos de adubação foliar para diferentes culturas são apresentados em [Boareto & Rosolem \(1989\)](#).

Nas áreas de Cerrado, o fornecimento de micronutrientes agregados aos formulados NPK na adubação de base é prática corriqueira. Na maioria dos formulados, a concentração de cada micronutriente não ultrapassa 0,5%, mas a distribuição na lavoura é facilitada ([Volkweiss, 1991](#)). A dificuldade é encontrar fertilizantes ensacados contendo o micronutriente necessário na quantidade requerida para diferentes condições de cultura e solos ([Lopes, 1991](#)).

Os micronutrientes podem ser incorporados ao formulado ou revestir os grânulos de NPK. Contudo, uma fonte solúvel pode ser convertida a insolúvel por reações

durante a fabricação de misturas e vice-versa. Sais solúveis de Cu, Fe, Mn e Zn tendem a se tornar insolúveis quando incorporados a fosfatos de amônio e ou fertilizantes amoniados mistos ([Lopes, 1991](#)). Apesar do uso generalizado, faltam mais estudos sobre fontes misturadas ou incorporadas ao NPK.

## Particularidades

De acordo com [Sousa \(1996\)](#), a deficiência de Mn é mais comum nas culturas de soja, trigo e aveia, enquanto milho e algodão são menos sensíveis ao problema. O autor apresenta como sugestão para corrigir a deficiência na soja a adubação foliar com 400 g ha<sup>-1</sup> de Mn em duas ou três aplicações antes da floração. O melhor é corrigir o solo antes do plantio, desde que o pH esteja abaixo de 6,0. Se o pH estiver muito elevado, as grandes quantidades de Mn necessárias tornam a correção via solo antieconômica. A aplicação de Mn no sulco com outros fertilizantes formadores de ácido, como o superfosfato simples, é recomendada como forma de favorecer a absorção do micronutriente ([Lopes, 1999](#)). O efeito residual da adubação com Mn via solo, em casa de vegetação, foi verificado por dois cultivos e especialmente quando foi feita calagem num Latossolo Vermelho-Amarelo ([Oliveira et al., 1999](#)), mas o efeito residual no campo parece ser pouco duradouro.

Entre os micronutrientes, o efeito residual de zinco foi o único a influenciar o rendimento da soja, proporcionando ganho de produtividade ao longo do segundo e do terceiro cultivos depois da aplicação ([Silva et al., 1986](#)). Já de acordo com as recomendações da [Embrapa \(2001\)](#), para a cultura da soja, o residual de fontes solúveis ou insolúveis atinge pelo menos cinco anos para B, Cu, Mn e Zn.

[Silva & Andrade \(1983\)](#) detectaram efeito residual do B até três anos depois da aplicação de FTE BR-12 em Latossolo Vermelho-Amarelo, entretanto, a aplicação de 46 kg ha<sup>-1</sup> de bórax no sulco parece ter prejudicado as culturas de soja e arroz, evidenciando os riscos de doses excessivas desse nutriente. Para a adubação com B em solos arenosos e sob alta pluviosidade, fontes de menor solubilidade como as fritas ou a colemanita são melhores que o bórax, pois diminuem as possibilidades de perda por lixiviação e de ocorrência de toxidez ([Volkweiss, 1991](#); [Lopes, 1999](#)).

Muitos trabalhos tratam da comparação de produtos e métodos de aplicação de Mo e Co via solo, foliar ou nas sementes da soja, mas os resultados obtidos têm-se mostrado muito variáveis.



Conforme [\(Hungria et al., 2001\)](#), formas salinas ou a ação bactericida de alguns produtos contendo Mo e Co podem provocar a morte do rizóbio. Para contornar o problema, esses autores têm recomendado a aplicação desses micronutrientes via foliar antes do início da floração, podendo ser associada às pulverizações com herbicidas pós-emergentes, inseticidas ou baculovirus.

Essa toxicidade não foi confirmada em outros trabalhos. [Broch \(1997b\)](#) obteve ganho em produtividade em função de inoculação de sementes com uso conjunto de fungicida e micronutrientes. A comparação do fornecimento de Co e Mo via semente ou foliar (duas aplicações) em Uberaba-MG apresentou resultados variáveis conforme o ano. Na média, a aplicação via semente foi melhor [\(Souza & Zito, 2001\)](#).

Os trabalhos conduzidos por [Campo et al. \(2001a,b,c\)](#) permitiram concluir que: i) a aplicação foliar de Co e Mo associada com qualquer tratamento de controle fitossanitário antes da floração (25 dias depois da emergência) foi tão eficiente quanto a aplicação via semente, sem haver prejuízo da nodulação; ii) em áreas cultivadas há vários anos, com população de rizóbio bem estabelecida, a aplicação de produtos com Co e Mo nas sementes não afetou a nodulação; iii) a adição apenas de micronutrientes com o inoculante parece não ser prejudicial, mas a utilização de fungicidas para tratar as sementes provocou diminuição da nodulação e rendimento de grãos; iv) é possível a obtenção de sementes enriquecidas em Mo quando se realizam aplicações foliares no período produtivo, e o uso de sementes enriquecidas associado à complementação via foliar, promoveu ganho de produtividade.

## Melhoramento Genético e Biotecnologia

A principal estratégia para solucionar o problema da deficiência de micronutrientes nos solos de Cerrado consiste no fornecimento desses micronutrientes mediante a aplicação de fertilizantes. No entanto, a dificuldade de se definir doses precisas para diferentes condições ambientais e de manejo e o elevado custo das práticas de adubação são aspectos limitantes dessa estratégia. Os sistemas de diagnose nutricional e recomendação de micronutrientes não foram ainda suficientemente aprimorados, por isso são bastante restritas as possibilidades de variar as dosagens na adubação. Ademais, a estreita amplitude entre os níveis de deficiência e toxidez de micronutrientes é outro fator que torna arriscado tal procedimento.

Apenas mais recentemente tem-se atentado para a possibilidade de seleção, melhoramento ou modificação genética visando à obtenção de genótipos mais eficientes na absorção e, ou, utilização de micronutrientes. Quase sempre, os programas tradicionais de melhoramento trabalham a seleção em condições edáficas otimizadas, descartando a chance de se obter material mais adaptado ao crescimento em ambientes com suprimento subótimo ou deficitário de micronutrientes.

É sabido que a capacidade de aproveitamento de nutrientes pelas plantas varia entre espécies e mesmo entre genótipos de uma mesma espécie. [Krämer & Sattelmacher \(2001\)](#) comprovaram que a eficiência a Mn e Cu difere muito entre culturas. A existência de variabilidade genética, em termos de resposta diferencial de cultivares ao fornecimento de micronutrientes, já foi evidenciada para culturas como a soja [\(Broch & Fernandes, 1999\)](#) e o milho [\(Galvão, 1986\)](#).

A freqüente ocorrência de deficiência ou de toxidez de micronutrientes nos solos agrícolas pode fazer com que os trabalhos de melhoramento genético, em situações distintas, tenham objetivos opostos. Por exemplo, em determinadas áreas do Cerrado, a deficiência de Mn tem sido fator limitante à produtividade da soja, justificando ações específicas de seleção para eficiência nutricional ao micronutriente (Plínio Itamar de Mello de Souza<sup>1</sup>). Já em solos ácidos, a “queima de folhas” da soja pode estar relacionada, entre outras causas, ao excesso de Mn e, nesse caso, o melhoramento já permitiu obter genótipos com graus variados de tolerância aos solos ácidos [\(Arantes & Miranda, 1993\)](#). Nesse contexto, [Fecht et al. \(2001\)](#) demonstraram que atividade de peroxidase no apoplasto foliar é marcador sensível para suscetibilidade ou tolerância à toxidez de Mn em *Vigna* (caupi), podendo essa característica ser utilizada para discriminar cultivares nos processos de seleção.

Mecanismos de eficiência no uso de micronutrientes têm sido identificados. Há evidências de que, sob baixo suprimento de Zn, ocorre aumento na retranslocação do micronutriente para partes jovens da planta de arroz, sendo que cultivares mais eficientes têm maior capacidade de retranslocação [\(Hajiboland et al., 2001\)](#). No caso específico do Fe, a dificuldade de mantê-lo em formas disponíveis no solo e a elevada quantidade que deve ser aplicada na

---

<sup>2</sup> Informação verbal fornecida por Plínio Itamar de Mello de Souza, em Planaltina, DF, em 2003.

adubação (50-100 kg ha<sup>-1</sup> de Fe) fazem com que o uso de variedades tolerantes à deficiência seja preconizado ([Volkweiss, 1991](#)). Níveis subótimos de Fe levam algumas plantas a desenvolver adaptações morfológicas e fisiológicas para facilitar a aquisição desse elemento ([Marschner, 1995](#)).

O emprego de técnicas de transgenia com a introdução do gene que codifica a enzima citrato sintase, oriundo de *Pseudomonas aeruginosa*, permitiu obter plantas de *Arabidopsis* e sorgo com superprodução de citrato, composto químico que possivelmente tem participação na aquisição e mobilidade interna de Fe nessas plantas ([Ramirez-Rodríguez et al., 2001](#)). Em outra linha de pesquisa, a superexpressão da nicotianamina sintase tem sido buscada. A nicotianamina é um agente quelante de micronutrientes, endógeno da planta, importante para o transporte de Fe via simplasto e no floema, estando associada à maior eficiência a Fe ([Douchkov et al., 2001](#)).

É importante destacar que duas vertentes podem ser exploradas paralelamente num programa de melhoramento quando se avalia a variabilidade genética e os aspectos da nutrição vegetal. Com base em resultados de pesquisa tem-se evidenciado ser possível focar, ao mesmo tempo: a obtenção de genótipos com alta eficiência na aquisição/uso de micronutrientes e de genótipos capazes de acumulá-los nos grãos. No primeiro caso, consegue-se otimizar o processo produtivo da cultura no tocante ao manejo de micronutrientes e garantir maior estabilidade de produção, enquanto na segunda opção, é possível melhorar a qualidade nutricional do produto colhido.

O desenvolvimento de variedades acumuladoras de micronutrientes é uma forma de prevenir a desnutrição das populações humanas por meio da produção de alimentos com maior valor nutricional. Segundo [Welch \(2001\)](#), há no mundo 3,7 bilhões de pessoas com deficiência de Fe, sendo que a de Zn pode ser da mesma magnitude, embora não existam dados confiáveis a esse respeito. É possível, via melhoramento, aumentar os níveis de Fe, Zn e pró-vitamina A em culturas como o arroz, trigo, milho, feijão e mandioca. Nesse sentido, o autor destaca os seguintes aspectos:

- há variabilidade genética para Fe e Zn entre os maiores bancos de germoplasma, o que justifica a seleção;
- as características de elevado conteúdo de micronutrientes são estáveis entre ambientes;

- é possível combinar alto conteúdo de micronutrientes com alta produtividade;
- o controle genético dessas características é simples, tornando o programa de seleção econômico;
- na seleção, vários micronutrientes podem ser trabalhados simultaneamente.

## Necessidade de Pesquisa

Grande parte dos trabalhos de revisão abordando adubação com micronutrientes no Brasil ressalta a necessidade de maiores esforços direcionados para a pesquisa concernente ao tema. O pequeno número de trabalhos, em comparação ao que se publica sobre os macronutrientes, é uma evidência contundente de que os estudos envolvendo micronutrientes têm sido relegados.

As prioridades de estudos ainda são relacionadas aos temas calibração de análises de solo e de folhas, eficiência de fontes, doses e modos de aplicação e efeito residual de micronutrientes. É importante que se façam avaliações econômicas dos resultados. Devem-se considerar também os custos adicionais de aplicação no caso da adubação foliar. Falta aprimoramento relativo aos limites de interpretação de análises de solos e de plantas, considerando-se as diferenças de comportamento das culturas ([Lopes, 1991](#); [Malavolta et al., 1991](#); [Rajj & Bataglia, 1991](#); [Volkweiss, 1991](#)).

Trabalhos de amostragem maciça de solos e de plantas, associados às correlações com produções obtidas, fornecem estimativas da disponibilidade de micronutrientes, as quais podem ser utilizadas como índices de interpretação para as culturas de maior relevância numa dada região, reduzindo o período de tempo necessário à obtenção de resultados por meio da pesquisa tradicional ([Lopes, 1986](#)). A aplicação de nutrientes de forma balanceada e uma eficiente amostragem do solo para plantios futuros são desafios aos que trabalham com plantio direto ([Spehar & Landers, 1997](#)).

Além desses aspectos, outras lacunas existem na pesquisa com micronutrientes nas condições do Cerrado:

- falta ainda melhorar o desenvolvimento das recomendações e determinar o efeito residual de adubações com B e Mn;
- a calibração e a interpretação das análises de solo e de folhas precisam ser reconsideradas para as condições edafoclimáticas diferenciadas das novas áreas de produção na região, atuais “fronteiras agrícolas” no Cerrado;

- culturas (anuais e perenes) recém-introduzidas e pastagens requerem a realização de estudos específicos de nutrição vegetal e adubação com micronutrientes;
- o uso crescente e indiscriminado de uma gama de produtos de naturezas diversas como fontes de micronutrientes precisa ser respaldado por experimentação que gere informações técnicas fidedignas;
- nas áreas cultivadas há mais tempo, têm surgido desordens fisiológicas devido ao desequilíbrio nutricional, evidenciando a necessidade de se estabelecer relações adequadas entre nutrientes para refinar o monitoramento do solo e das culturas;
- no melhoramento genético, devem ser identificados genótipos que apresentem maior eficiência de uso de micronutrientes e, ou, que permitam obter produtos de melhor qualidade nutricional (alimentos ricos em micronutrientes).

A geração de informações mais criteriosas a respeito da dinâmica, disponibilidade e tecnologia de manejo da adubação com micronutrientes em solos de Cerrado deve, necessariamente, fazer parte dos planos de desenvolvimento estratégico da agricultura na região, para que não se tenha um empecilho tecnológico ainda maior no futuro. Tais informações são imprescindíveis num cenário em que se busca produtividade associada à competitividade.

## Referências Bibliográficas

- 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. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 25-32.
- ALVIM, P. T.; ARAÚJO, W. A. El suelo como factor ecológico em desarrollo de la vegetación en el planalto central de Brasil. **Turrialba**, Turrialba, v. 2, p. 153-160, 1952.
- AMBROSANO, E. J.; TANAKA, R. T.; MASCARENHASH, A. A. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1996. p. 189-191. (Instituto Agrônômico. Boletim Técnico, 100).

ARANTES, N. E.; MIRANDA, M. A. C. de. Melhoramento genético e cultivares de soja para o cerrado da região sudeste do Brasil. In: ARANTES, N. E.; SOUZA, P. I. M. (Ed.). **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: Potafos, 1993. p. 209-227.

ARAÚJO, M. A. G. Adubação com nutrientes secundários e micronutrientes em 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. 5-12.

ARENS, K. As plantas lenhosas dos campos cerrados como flora adaptada às deficiências minerais do solo. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 1., São Paulo, 1962. **Anais...** São Paulo: EDUSP, 1963. p. 286-303.

ARENS, K. O cerrado como vegetação oligotrófica. **Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, Botânica**, São Paulo, n. 15, p. 59-77, 1958.

BARBOSA FILHO, M. P.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F. da. **Correção de deficiências de micronutrientes em arroz de terras altas**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 21 p. (Embrapa Arroz e Feijão. Documentos, 93).

BOARETTO, A. E.; ROSOLEM, C. A. (Coord.). SIMPOSIO BRASILEIRO DE ADUBAÇÃO FOLIAR, 2., 1987, Campinas. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1989. 669 p.

BORKERT, C. M.; HITSUDA, K.; CASTRO, C.; SFREDO, G. J.; LANTMANN, A. F.; PEREIRA, J. E.; YAMADA, T. Adubação da soja com macro e micronutrientes e manejo da fertilidade do solo em rotação de culturas em solos do Brasil. In: HOFFMANN-CAMPO; C. B.; SARAIVA, O. F. (Org.). **Resultados de pesquisa da Embrapa Soja – 2000: solos**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. p. 23-35. (Embrapa Soja. Documentos, 162).

BORKERT, C. M.; PEREIRA, L. R.; SFREDO, G. J.; OLIVEIRA JR., A.; ORTIZ, F. R. Calibração de zinco no solo do estado do Mato Grosso. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24., 2002, São Pedro. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2002. p. 126-127. (Embrapa Soja. Documentos, 185).

BRITO, D. P. P. de S.; CASTRO, A. F. de; MENDES, W.; JACCOUD, A.; RAMOS, D. P.; COSTA, F. A. Estudo das reações a micronutrientes em

latossolos vermelho-escuro sob vegetação de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 6, p. 17-22, 1971.

BROCH, D. L. Efeito da tecnologia de aplicação de fungicidas, micronutrientes e inoculante na produtividade da soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 18., 1996, Uberlândia. **Ata e resumos...** Uberlândia: UFU: Embrapa-CNPSO, 1997b. p. 375-376.

BROCH, D. L. Influência de micronutrientes na produtividade da soja na região Centro-Sul do estado do Mato Grosso do Sul. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 18., Uberlândia, 1996. **Ata e resumos...** Uberlândia: UFU: DEAGO, 1997a. p. 376.

BROCH, D. L.; FERNANDES, C. H. Resposta de diferentes cultivares de soja a aplicação de micronutrientes via semente. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 21., 1999, Dourados. **Resumos...** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste: Embrapa Soja, 1999. p. 215-216. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 7; Embrapa Soja. Documentos, 134).

BUZETTI, S.; MAURO, A. D.; VARGAS, J. T. D. Efeito de vários micronutrientes na cultura de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), cv. UFV-1, num solo sob vegetação de cerrado. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 2., 1981, Brasília. **Anais...** Londrina: Embrapa-CNPSO, 1982. v. 2, p. 624-628.

CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M.; LAURETO, E.; CONCEIÇÃO, R. B. Efeito da aplicação de micronutrientes na nodulação e no rendimento da soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 23., Londrina, 2001. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2001. p. 97-98. (Embrapa Soja. Documentos, 157).

CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M.; MORAES, J. Z.; SIBALDELLE, R. N. R. Efeito da aplicação de fungicidas e micronutrientes na nodulação e no rendimento da soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 23., Londrina, 2001. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2001. p. 100. (Embrapa Soja. Documentos, 157).

CAMPO, R. J.; HUNGRIA, M.; SIBALDELLE, R. N. R.; MORAES, J. Z. Método alternativo para fornecer Mo para a soja e a fixação biológica de nitrogênio. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 23.,

Londrina, 2001. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2001. p. 101. (Embrapa Soja. Documentos, 157).

COMISSÃO de Fertilidade Do Solo De Goiás. **Recomendações de corretivos e fertilizantes para Goiás: 5ª aproximação.** Goiânia: UFG: Emgopa, 1988. 101 p. (Informe Técnico, 1).

COQUEIRO, E. P.; SANTOS, H. L. dos; ANDRADE, J. M. V. de. Adubação NPK e microelementos em trigo em solo de várzea, em Sete Lagoas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 7, p. 111-114, 1972.

DECHEN, A. R.; HAAG, H. P.; CARMELLO, Q. A. C. Mecanismos de absorção e translocação de micronutrientes. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Ed.). **Micronutrientes na agricultura.** Piracicaba: POTAFOS: CNPq, 1991. p. 79-97.

DOUCHKOV, D.; HELL, R.; STEPHAN, U. W.; BÄUMLEIN, H. Increased iron efficiency in transgenic plants due to ectopic expression of nicotianamine synthase. In: HORST, W. J.; SCHENK, M. K.; BÜRKERT, A.; CLAASSEN, N.; FLESSA, H.; FROMMER, W. B.; GOLDBACH, H.; OLFS, H. W.; RÖMHELD, V.; SATTELMACHER, B.; SCHMIDHALTER, U.; SCHUBERT, S.; WIRÉN, N. V.; WITTENMAYER, L. (Ed.). **Developments in Plant and Soil Sciences**, Dordrecht, v. 92, p. 54-55, 2001.

EIRA, P. A. da; RUSCHEL, A. P.; BRITO, D. P. P. de S.; MILLER, S. F.; BAUWIN, G. R. Estudo da fertilidade de um solo de campo cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 7, p. 119-122, 1972.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na Região Central do Brasil: 1996/97.** Londrina, 1996. 164 p. (Embrapa-CNPSo. Documentos, 96).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Tecnologias de produção de soja: região central do Brasil, 2001/2002.** Londrina: Embrapa Soja, 2001. 267 p. (Embrapa-CNPSo. Documentos, 167).

EMBRAPA. Departamento Técnico-científico. Programa nacional de pesquisa de aproveitamento de recursos naturais e socio-econômicos dos cerrados. In: EMBRAPA. Departamento Técnico-Científico. **Programa nacional de pesquisa para a região dos cerrados.** Brasília: EMBRAPA-DID, 1981. p.35-62

FAGERIA, N. K. Manejo da calagem e adubação do arroz. In: BRESEGHETTO, F.; STONE, L. F. (Ed.). **Tecnologia para o arroz de terras altas.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 1998. p. 67-78.



FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P. Interação entre fósforo, zinco e calcário em arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 3, n. 2, p. 88-92, 1979.

FECHT, M.; MAIER, P.; HORST, W. J. Peroxidase activity in the leaf apoplast is a sensitive marker for Mn toxicity and Mn tolerance in *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Developments in Plant and Soil Sciences**, Dordrecht, v. 92, p. 264-265, 2001.

FRANCO, A. A. Micronutrient requirements of legume-*Rhizobium* symbiosis in the tropics. In: DÖBEREINER, J.; BURRIS, R. H.; HOLLAENDER, A.; FRANCO, A. A.; NEYRA, C. A.; SCOTT, D. B. (Ed.). Limitations and potentials for biological nitrogen fixation in the tropics. **Basic Life Sciences**, New York, v. 10, p. 161-171, 1978.

FREITAS, L. M. M. de; MIKKELSEN, D. S.; McCLUNG, A. C.; LOTT, W. L. Agricultura no cerrado: efeitos da calagem e adubação na produção de algodão, milho e soja em três solos de campo cerrado. In: SIMPOSIO SOBRE O CERRADO, 1., 1962, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EDUSP, 1963. p. 323-357.

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

GALRÃO, E. Z. Micronutrientes. In: GOEDERT, W. J. (Ed.) **Solos dos Cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1986. p. 237-259.

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

GALRÃO, E. Z. Micronutrientes. In: SIMPOSIO SOBRE O CERRADO, 6., 1982, Brasília. **Anais: Savanas: alimento e energia**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1988. p. 109-129.

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

GALRÃO, E. Z.; SUHET, A. R.; SOUSA, D. M. G. de. Efeito de micronutrientes no rendimento e composição química do arroz (*Oryza sativa* L.) em solo de

cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 2, n. 2, p. 129-132, 1978.

GIANLUPPI, D.; NASCIMENTO JR., A.; MATTIONI, J. A. M.; OLIVEIRA JR., O. L.; SMIDERLE, O. J.; GIANLUPPI, V. Níveis de Zn, Mn, Cu e B para cultivo da soja em latossolos de textura média nos cerrados de Roraima. In: HOFFMANN-CAMPO; C. B.; SARAIVA, O. F. (Org.). **Resultados de pesquisa da Embrapa Soja – 2000**: solos. Londrina: Embrapa Soja, 2001. p. 41-43. (Embrapa Soja. Documentos, 162).

GIANLUPPI, D.; SMIDERLE, O. J.; GIANLUPPI, V.; BORKERT, C. M. Efeitos de níveis de B e de saturações de bases aplicada na correção do solo sobre a produtividade de soja nos cerrados de Roraima nos dois primeiros cultivos após aplicação. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24., 2002, São Pedro. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2002a. p. 108. (Embrapa Soja. Documentos, 185).

GIANLUPPI, D.; SMIDERLE, O. J.; GIANLUPPI, V.; BORKERT, C. M. Efeito da aplicação de doses de Zn a lanço sobre a produtividade de soja nos cerrados de Roraima nos dois primeiros cultivos. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24., 2002, São Pedro. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2002b. p. 109. (Embrapa Soja. Documentos, 185).

GIANLUPPI, D.; SMIDERLE, O. J.; GIANLUPPI, V.; BORKERT, C. M. Efeitos de doses de Mn aplicadas a lanço na correção do solo sobre a produtividade da soja nos cerrados de Roraima nos dois primeiros cultivos após a aplicação. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24., 2002, São Pedro. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2002c. p. 110. (Embrapa Soja. Documentos, 185).

GOODLAND, R. Oligotrofismo e alumínio no cerrado. In: FERRI, M. G. (Ed.). **SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO**, 3., 1971, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EDUSP, 1971. p. 44-60.

GOODLAND, R.; FERRI, M. G. **Ecologia do Cerrado**. Belo Horizonte: Itatiaia, 1979. 193 p.

HAJIBOLAND, R.; SINGH, B.; RÖMHELD, V. Retranslocation of Zn from leaves as important factors for zinc efficiency of rice genotypes. **Developments in Plant and Soil Sciences**, Dordrecht, v. 92, p. 226-227, 2001.

HARDY, F. Problemas de fertilización en el campo cerrado de la parte central oriental de Brazil. **Turrialba**, Turrialba, v. 12, n. 3, p. 128-133, jul./set. 1962.

HITSUDA, K.; SFREDO, G. J.; KLEPKER, D. Capacidade de suprimento de enxofre e micronutrientes em dois solos de cerrado do nordeste do Brasil - diagnose nutricional de enxofre na soja. REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 23., 2001, Londrina. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2001. p. 93-94. (Embrapa Soja. Documentos, 157).

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. de C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 48p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 35).

KLEPKER, D.; HITSUDA, K.; BORKERT, C. M.; YAMADA, T. Adubação da soja em solos tropicais de baixa latitude, em sistema de semeadura direta e convencional In: HOFFMANN-CAMPO; C. B.; SARAIVA, O. F. (Org.). **Resultados de pesquisa da Embrapa Soja – 2000: solos**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. p. 17-23. (Embrapa Soja. Documentos, 162).

KRÄHMER, R.; SATTELMACHER, B. Determination of Mn and Cu efficiency of crop plants in pot experiments. **Developments in Plant and Soil Sciences**, Dordrecht, v. 92, p. 118-119, 2001.

LEANDRO, W. M.; ALMEIDA NETO, J. X.; SOMENZI, L. A.; COSTA, G. C. Sistema integrado de diagnose e recomendação para a soja: comparação entre normas foliares regionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1999, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 1999. p. 357.

LOBATO, E.; SOARES, W.; FRANCIS, C. W.; DOWNES, J. D. Resultados preliminares do estudo de fertilidade com milho doce e do efeito residual com soja em solos de campo cerrado do Distrito Federal. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE CERRADOS, 2., 1967, Sete Lagoas. **Anais...** Sete Lagoas: IPEACO, 1972. p. 153-163.

LOPES, A. S. **A survey of the fertility status of soils under cerrado vegetation in Brazil**. 1975. 138 f. Dissertação (Mestrado) - North Carolina State University. Raleigh, 1975.

LOPES, A. S. Micronutrientes nos solos e culturas brasileiras. In: SEMINÁRIO FÓSFORO, CÁLCIO, MAGNÉSIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES. São Paulo, 1984. **Situação atual e perspectivas na agricultura: anais**. São Paulo: Manah, 1986. p. 110-141.

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

LOPES, A. S. Micronutrientes: filosofias de aplicação, fontes, eficiência agrônômica e preparo de fertilizantes. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Ed.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS: CNPq, 1991. p. 357-390.

LOPES, A. S. **Solos sob “cerrado”**: características, propriedades e manejo. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1983. 162 p.

LOPES, A. S.; COX, F. R. A survey of the fertility status of surface soils under “cerrado” vegetation in Brazil. **Soil Science Society of America Journal**, v. 41, n. 4, p. 742-747, Jul./Aug. 1977b.

LOPES, A. S.; COX, F. R. Cerrado vegetation in Brazil: an edaphic gradient. **Agronomy Journal**, New York, v. 69, p. 828-831, 1977a.

MALAVOLTA, E.; BOARETTO, A. E.; PAULINO, V. T. Micronutrientes – uma visão geral. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Ed.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS: CNPq, 1991. p.1-33.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. New York: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª aproximação. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 143-168.

MARTINS, O.; BRAGA, J. M. Caracterização de fertilidade de cinco latossolos sob vegetação de cerrado no Triângulo Mineiro. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 24, n. 136, p. 596-607, nov./dez. 1977.

MASCARENHAS, H. A. A.; KIIHL, R. A. S.; NAGAI, V.; BATAGLIA, O. C. Aplicação de micronutrientes em soja cultivada em solos de cerrado. **O Agrônomo**, Campinas, v. 25, n. 20, p. 71-77, 1973.

MASCARENHAS, H. A. A.; MIYASAKA, S.; FREIRE, E. S.; IGUE, T. Adubação da soja. VI. Efeitos do enxofre e de vários micronutrientes (Zn, Cu, B, Mn, Fe e Mo), em solo latosol roxo com vegetação de cerrado. **Bragantia**, Campinas, v. 26, n. 29, p. 373-379, ago. 1967.

MIYASAKA, S.; FREIRE, E. S.; MASCARENHAS, H. A. A. Adubação da soja. III - Efeito do NPK, do enxofre e de micronutrientes em solo do arenito Botucatu, com vegetação de cerrado. **Bragantia**, Campinas, v. 23, n. 7, p. 65-71, fev. 1964.

MIYASAKA, S.; FREIRE, E. S.; MASCARENHAS, H. A. A. Adubação da soja. III. Efeito de NPK, do enxofre e de micronutrientes em solo do Arenito Botucatu, com vegetação de cerrado. **Bragantia**, Campinas, v. 23, n. 7, p. 65-71, 1964.

OLIVEIRA JUNIOR, J. A.; CABRAL, C. P.; MALAVOLTA, E. Resposta da soja ao efeito residual do manganês aplicado em um solo do cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1999, Londrina. **Anais...** Londrina: Embrapa Soja, 1999. p. 350.

PECK, T. R. Plant analysis for production agriculture. In: SOIL PLANT ANALYST 'S WORKSHOP, 7., 1979, Bridgetown. **Proceedings...**[S.l: s.n], 1979. p. 1-45.

PEREIRA, L. R.; BORKERT, C. M.; CASTRO, C.; SFREDO, G. J.; OLIVEIRA JR., A.; OLIVEIRA NETO, W. Calibração de boro para a cultura da soja em solo do Mato Grosso. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24., 2002, São Pedro. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2002a. p. 123-124. (Embrapa Soja. Documentos, 185).

PEREIRA, L. R.; BORKERT, C. M.; SFREDO, G. J.; OLIVEIRA JR., A.; ORTIZ, F. R. Calibração de manganês para a cultura da soja em solo do Mato Grosso. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24., 2002, São Pedro. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2002b. p. 122-123. (Embrapa Soja. Documentos, 185).

RAIJ, B. van; BATAGLIA, O. C. Análise química do solo. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. (Ed.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS: CNPq, 1991. p.333-355.

RAMIREZ-RODRÍGUEZ, V.; NIETO-JACOBO, M. F.; LÓPEZ-BUCIO, J.; HERRERA-ESTRELLA, L. Effect of citrate overproduction on iron nutrition in plants. In: HORST, W. J.; SCHENK, M. K.; BÜRKERT, A.; CLAASSEN, N.; FLESSA, H.; FROMMER, W. B.; GOLDBACH, H.; OLFS, H. W.; RÖMHELD, V.; SATTELMACHER, B.; SCHMIDHALTER, U.; SCHUBERT, S.; WIRÉN, N. V.; WITTENMAYER, L. (Ed.). **Developments in Plant and Soil Sciences**, Dordrecht, v. 92, p. 44-45, 2001.

REIS, M. S.; SEDIYAMA, C. S.; SEDIYAMA, T. Adubação nitrogenada, inoculação e aplicação de fritas de micronutrientes na cultura de soja. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 24, n. 132, p. 163-169, mar./abr. 1977.

ROESSING, A. C.; GALERANI, P. R.; GUEDES, L. C. A.; MELLO, H. C. Avaliação do comportamento da safra de soja de 1995/96. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 18., 1996, Uberlândia. **Ata e resumos...** Uberlândia: UFU: Embrapa-CNPSo, 1996. p. 31-117.

SANTOS, H. L. dos; CARDINALI, L. R.; MENDES, J. F.; CORREA, H.; SILVA, T. Ensaio de adubação mineral em abacaxizeiro (*Ananas comosus*) em solo sob cerrado. **Boletim Técnico do Instituto de Pesquisas e Experimentação Agropecuária do Centro-Oeste**, Sete Lagoas, n. 15, p. 1-5, 1972.

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M.; CASTRO, C. Efeito de micronutrientes sobre a produção de soja em três solos do Estado do Paraná. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 75, p. 2-3, 1996.

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M.; LANTMANN, A. F.; OLIVEIRA, M. C. N.; MEYER, M. C. Estudo da biodisponibilidade de micronutrientes para a cultura da soja em solos do Brasil. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 20., 1998, Londrina. **Ata e resumos...** Londrina: Embrapa-CNPSo, 1998. p. 370-371. (Embrapa-CNPSo. Documentos, 121).

SFREDO, G. J.; PEREIRA, L. R.; BORKERT, C. M.; OLIVEIRA JR., A.; ORTIZ, F. R. Calibração de cobre no solo do Mato Grosso para a cultura da soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 24., 2002, São Pedro. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2002. p. 120-121. (Embrapa Soja. Documentos, 185).

SILVA, A. R. da. Efeito de micronutrientes sobre o chochamento da espiga (esterilidade masculina) do trigo. In: EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. **Trabalhos com trigo, cevada e triticale no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados em 1979**. Planaltina, 1980. p. 59-64.

SILVA, A. R. da; ANDRADE, J. M. V. de. Correlações entre os teores de nutrientes nas folhas do arroz e rendimento em Latossolo Vermelho-Amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 153-162, 1987.

SILVA, A. R. da; ANDRADE, J. M. V. de. Efeito de micronutrientes no chochamento do trigo de sequeiro e nas culturas de soja e arroz em latossolo

vermelho amarelo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 6, p. 593-601, 1983.

SILVA, A. R. da; ANDRADE, J. M. V. de.; PERES, J. R. R. Efeito residual de micronutrientes no teor foliar e na produção de soja no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 6, p. 597-613, 1986.

SILVA, L. A.; HAMAWAKI, O. T.; SOUZA, M. P. Resposta da soja à adubação foliar com fertilizantes a base de macronutrientes, micronutrientes e aminoácidos. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 23., 2001, Londrina. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja. 2001. p. 86. (Embrapa Soja. Documentos, 157).

SOUSA, D. M. G. de. Conseqüências da calagem excessiva e deficiência de manganês nos cerrados. REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 18., 1996, Uberlândia. **Ata e resumos**. Uberlândia: UFU: Embrapa-CNPSO, 1996. p. 131-133.

SOUSA, D. M. G. de. Principais aspectos da fertilidade do solo sob plantio direto. In: CURSO SOBRE ASPECTOS BASICOS 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. 30 p. (Plano de Safra 1998/99).

SOUZA, J. A.; ZITO, R. K. Resposta da soja à aplicação de Co e Mo, via foliar e tratamento de sementes, na região do Triângulo Mineiro. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 23., 2001, Londrina. **Resumos**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. p. 87. (Embrapa Soja. Documentos, 157).

SOUZA, J. A.; ZITO, R. K.; FRONZA, V.; SILVA, O. C. N. Efeito da aplicação foliar de molibdênio na produtividade da soja. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 19., 1997, Jaboticabal. **Ata e resumos**. Londrina: Embrapa-CNPSO, 1997. p. 293. (Embrapa-CNPSO. Documentos, 107).

SPEHAR, C. R.; LANDERS, J. Características, limitações e futuro do plantio direto nos cerrados. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DO SISTEMA PLANTIO DIRETO, 2., 1997, Passo Fundo. **Anais...** Passo Fundo: Embrapa-CNPT, 1997. p. 127-131.

SUHET, A. R.; NEPTUNE, A. M. L. Efeito do ferro(<sup>59</sup>Fe) e do zinco(<sup>65</sup>Zn) e da natureza de três tipos de solos na produção de matéria seca e na composição química do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. carioca e na fixação de nitrogênio atmosférico por esta leguminosa. **Anais da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz**, Piracicaba, v. 36, p. 1-42, 1979.

TANAKA, R. T.; MASCARENHAS, H. A. A.; BORKERT, C. M. Nutrição mineral da soja. In: ARANTES, N. E.; SOUZA, P. I. M. (Ed.). **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: Potafos, 1993. p. 105-135.

TINKER, P. B. Low-input agriculture: has it any logical justification? In: SIMPOSIO SOBRE O CERRADO, 6., 1982, Brasília. **Savanas: alimento e energia: anais**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1988. p. 183-198.

VALLADARES, L. C.; CARVALHO, Y. de; ALMEIDA NETO, J. X. de. Efeito de micronutrientes e calcário na cultura do arroz em solo de cerrado. **Anais da Escola de Agronomia e Veterinária**, Goiania, v. 1, n. 1, p. 35-45, 1971.

VITTI, G. C.; TREVISAN, W. Manejo de macro e micronutrientes para alta produtividade da soja. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 90, 2000. 16 p. Encarte técnico.

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

WELCH, R. M. Impact of mineral nutrients in plants on human nutrition on a worldwide scale. **Developments in Plant and Soil Sciences**, Dordrecht, v. 92, p. 284-285, 2001.



# Micronutrients Fertilization in the Cerrado

---

**Abstract** – *Micronutrients availability is an important constraint for crops in the Cerrado region, and its correction is always needed to obtaining economic yields. Old and new nutritional problems came with the agriculture expansion in Cerrado. Although being crucial for increasing the crop production, research efforts in this topic are far from being sufficient. A comprehensive review of the available knowledge on micronutrients management under Cerrado conditions is presented in this work.*

*Index terms: soil fertility, plant nutrition, nutrient deficiency, cerrado soils.*