

Um assunto que tem ocasionado polêmica é a necessidade de estabelecer, no solo, uma determinada relação Ca/Mg. Há abundante informação na literatura, a qual mostra que as produções de culturas não são afetadas por essa relação entre valores que variam de um mínimo ao redor de 0,5 até valores acima de 30, desde que nenhum dos dois elementos esteja presente em teores deficientes.

O enxofre é extraído do solo com solução de  $\text{CaH}_2\text{PO}_4$  0,01 mol/L, que extrai principalmente a forma de sulfato, considerada disponível. A interpretação apresentada no quadro 4.3 refere-se à camada arável. Convém ressaltar que é comum haver acúmulo de sulfato abaixo da camada arável e, assim, uma diagnose mais apurada sobre a disponibilidade de enxofre deve levar em conta, também, os teores da camada de 20-40 cm de profundidade.

#### 4.5 Micronutrientes

A interpretação adotada é apresentada no quadro 4.4.

O importante na interpretação da análise química de micronutrientes em solos é o uso de extratores adequados para avaliar a sua disponibilidade. Os extratores que se revelaram mais eficientes, nos estudos realizados no Instituto Agrônomo, foram a água quente para boro e a solução do complexante DTPA para zinco, ferro, cobre e manganês.

A interpretação da análise de solo para micronutrientes pode ser aprimorada pela consideração de diferentes espécies vegetais. Nas tabelas de adubação, a interpretação da análise de solo é incluída para aquelas culturas em que têm sido constatadas deficiências freqüentes.

Quadro 4.4. Limites de interpretação dos teores de micronutrientes em solos

Teor	B água quente	Cu	DTPA			Zn
			Fe	Mn		
mg/dm <sup>3</sup>						
Baixo	0-0,20	0-0,2	0- 4	0-1,2		0-0,5
Médio	0,21-0,60	0,3-0,8	5-12	1,3-5,0		0,6-1,2
Alto	>0,6	>0,8	>12	>5,0		>1,2

#### 4.6 Matéria orgânica e argila

O teor de matéria orgânica do solo não revelou ser, no Estado de São Paulo, um índice adequado para prever a disponibilidade de nitrogênio em solos e, conseqüentemente, não tem sido usado para essa finalidade.

O teor de matéria orgânica é útil para dar idéia da textura do solo, com valores até de 15 g/dm<sup>3</sup> para solos arenosos, entre 16 e 30 g/dm<sup>3</sup> para solos de textura média e de 31 a 60 g/dm<sup>3</sup> para solos argilosos. Valores muito acima de 60 g/dm<sup>3</sup> indicam acúmulo de matéria orgânica no solo por condições localizadas, em geral por má drenagem ou acidez elevada.

É importante obter determinações dos teores de argila do solo, não somente da camada arável, mas também em profundidade. Os resultados são expressos em g/kg.

#### 4.7 Interpretação de resultados de análise de amostras do subsolo

A análise de amostras retiradas na profundidade de 20-40 cm serve para diagnosticar possíveis condições desfavoráveis ao desenvolvimento radicular, principalmente de culturas menos tolerantes à acidez. Essas condições são dadas por:

$$\text{Ca}^{2+} < 4 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3$$

$$\text{Al}^{3+} > 5 \text{ mmol}_c/\text{dm}^3, \text{ associado com saturação por alumínio (m) } > 40\%.$$

A análise de amostras de subsolos também é útil para avaliar a disponibilidade de enxofre, pois o sulfato tende a acumular no subsolo.

Outra informação importante pode ser obtida com a análise de potássio que, acusando resultados altos, indica lixiviação do nutriente.

*Bernardo van Raij, José Antonio Quaggio,  
Heitor Cantarella e Cleide A. de Abreu  
Seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas-IAC*

### 5. PRODUTIVIDADE ESPERADA

O conceito de produtividade esperada está sendo introduzido para diversas culturas como um dos critérios para alterar níveis de adubação. Há razões objetivas para considerar a produtividade esperada nas adubações: a) culturas mais produtivas requerem maior quantidade de nutrientes; b) com maiores produções, há maior renda, o que permite a aquisição de maiores quantidades de fertilizantes.

É importante entender que a produtividade esperada não é função apenas das doses aplicadas de fertilizantes, dependendo de diversos fatores, tais como solo, potencial genético da planta cultivada, condições climáticas durante o ciclo da cultura e o manejo, incluindo neste o controle de pragas, moléstias e plantas daninhas e o fornecimento ou não de água de irrigação. O solo pode, em parte, ser melhorado com o manejo, fator este sob o controle do produtor, mas também apresentar limitações intrínsecas impossíveis de ser alteradas, como textura, por exemplo.

Portanto, produtividade esperada não deve ser confundida com produtividade desejada.

A definição de uma determinada produtividade esperada deve levar em conta, sempre que houver informações, as colheitas passadas dos últimos anos. Assim, a meta de produtividade esperada deve ser colocada entre a média dos últimos anos e a maior produtividade obtida. Dessa maneira, garan-

### 8.2.2 Adubação potássica

A análise de solo fornece informações seguras para se avaliar a disponibilidade de potássio às culturas e é o principal parâmetro utilizado para definir a recomendação das doses de fertilizantes potássicos nas tabelas desta publicação. Outro parâmetro importante é a produtividade esperada, que reflete a extração do nutriente pela cultura e a remoção pelas colheitas.

As tabelas de recomendação geralmente prevêm a aplicação dos fertilizantes potássicos no sulco de plantio, embora esta também possa ser feita a lanço, antes do plantio. Em solos pobres, a aplicação no sulco é mais vantajosa pois, com doses menores, é possível garantir maior quantidade de nutrientes próximo do sistema radicular. Em solos com teores altos, a influência do modo de aplicação é menor.

A aplicação de altas doses de potássio no sulco de plantio deve ser evitada devido ao efeito salino e, em alguns casos, para diminuir perdas por lixiviação. O excesso de sais próximo às sementes e plântulas pode provocar-lhes a morte e reduzir o "stand", prejudicando a produção. Além disso, em solos arenosos, há o risco de perdas por lixiviação, pois a quantidade de colóides do solo na zona de aplicação do adubo pode não ser suficiente para reter grandes doses do nutriente. Assim, para culturas anuais, recomenda-se não exceder 60 kg/ha de  $K_2O$  no sulco de plantio. O restante deve ser aplicado em cobertura no início da fase de maior desenvolvimento das plantas, lembrando que aplicações tardias ou em solos muito argilosos, podem não ser eficientes. Para doses maiores que 100 kg/ha de  $K_2O$ , a aplicação a lanço, com incorporação antes do plantio, também é uma alternativa.

### 8.3 Enxofre

A maior parte do S do solo está na forma orgânica e necessita passar por processo de mineralização para se tornar disponível às plantas. A forma inorgânica predominante em solos bem drenados é a do sulfato, cuja determinação é bastante utilizada para avaliar a disponibilidade desse nutriente. Em muitos solos, o sulfato é mais retido nas camadas subsuperficiais com reação ácida, devido à presença de cargas positivas e menores teores de ânions como o fosfato, que competem por esses sítios de adsorção. Assim, a amostragem do solo para análise de sulfato deve também ser feita na camada de 20 a 40 cm, quando a profundidade do sistema radicular assim o justificar.

#### 8.3.1 Fertilizantes contendo enxofre

Os principais fertilizantes minerais contendo enxofre são apresentados no quadro 8.1. Em quase todas as fontes, o S está na forma de sulfato, prontamente disponível, mesmo na forma de sulfato de cálcio, de solubilidade relativamente baixa, presente no gesso e no superfosfato simples. Este nutriente faz parte de importantes fontes de nitrogênio, como o sulfato de amônio, e de fósforo, como o superfosfato simples, de modo que, muitas vezes, as

necessidades de S podem ser satisfeitas pela adubação com N e P. Essa estratégia é quase sempre a mais econômica, uma vez que as necessidades de S para as culturas são, geralmente, pequenas.

A gessagem, realizada com o propósito de minimizar problemas de acidez e falta de cálcio em subsuperfície (vide capítulo 6), geralmente fornece S além das necessidades das culturas e, por isso, pode resolver o problema de suprimento de S como nutriente por vários anos.

O enxofre elementar ( $S^0$ ), ou flor de enxofre, com 95 g/kg de S, é também uma fonte eficiente deste nutriente para as plantas, embora de solubilidade bastante baixa. A disponibilidade do S dessa fonte depende da oxidação a sulfato, cuja velocidade é função da granulometria: quanto mais fina, mais rápida é a oxidação. No entanto, o forte poder acidificante do enxofre elementar deve ser levado em consideração (32 kg de S necessitam de 100 kg de  $CaCO_3$  puro para neutralizar a acidez produzida).

#### 8.3.2 Adubação com enxofre

A extração de enxofre pelas culturas corresponde geralmente a 10 a 15% da de nitrogênio. No entanto, o uso de fórmulas concentradas, pobres em enxofre, por longos períodos de tempo, pode colaborar para o empobrecimento do solo e provocar deficiência desse nutriente. Por isso, recomenda-se que a aplicação de enxofre não seja negligenciada nos programas de adubação.

Nas tabelas desta publicação, geralmente a recomendação da dose de S não está amarrada à análise do solo, pois poucos laboratórios fazem a determinação desse nutriente em solo. No entanto, os resultados da análise de S-sulfato têm sido usados com relativo sucesso para prever a disponibilidade desse nutriente às plantas.

Heitor Cantarella

Seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas-IAC

## 9. ADUBAÇÃO COM MICRONUTRIENTES

As deficiências de micronutrientes em culturas representam uma preocupação crescente, já que elas vêm-se acentuando, podendo acarretar sérios prejuízos na produtividade. O cultivo em solos de baixa fertilidade, a calagem e o aumento da produtividade, são fatores que têm favorecido o aumento das deficiências de micronutrientes. A análise de solo para micronutrientes, introduzida nesta publicação, deverá ser importante instrumento para orientar a adubação, principalmente se for usada em conjunto com informações específicas sobre as espécies ou variedades cultivadas.

### 9.1 Fertilizantes contendo micronutrientes

Sais e óxidos inorgânicos, silicatos fundidos e quelatos - são usados como fontes de micronutrientes, isoladamente ou incorporados em formulações com macronutrientes.

O quadro 9.1 apresenta os principais produtos comercializados no Brasil, com os teores mínimos exigidos pelo Ministério da Agricultura. Na prática, podem ser encontrados produtos com teores bem mais elevados. A solubilidade ou não em água é um dos importantes atributos utilizados para orientar o modo de aplicação.

Os principais fertilizantes são os sais inorgânicos solúveis dos elementos. Também são utilizados óxidos, insolúveis em água. Os chamados silicatos, conhecidos como "fritas", são obtidos por fusão de silicatos com os micronutrientes. Eles são comercializados com grande diversidade de nutrientes, no mínimo dois, e com os teores mínimos apresentados no quadro 9.1. Os quelatos são produtos solúveis que mantêm os metais neles contidos fortemente complexados, em muitos casos protegendo os elementos de reações que poderiam reduzir sua disponibilidade no solo.

Tem havido uma tendência crescente de incorporação dos micronutrientes em formulações NPK, principalmente por causa da dificuldade de aplicação das pequenas quantidades normalmente necessárias nas adubações.

Quadro 9.1. Principais fontes de micronutrientes utilizados no Brasil e garantias mínimas exigidas pelo Ministério da Agricultura

Nutriente	Fertilizante	Garantia mínima (conc. do elemento)		Solubilidade em água
		%	g/kg	
Boro	Bórax	11	110	Solúvel
	Ácido bórico	17	170	Solúvel
	Silicato	1	10	Insolúvel
Cobre	Sulfato	13	130	Solúvel
	Óxido cúprico (CuO)	75	750	Insolúvel
	Silicato	2	20	Insolúvel
	Quelato	5	50	Solúvel
Ferro	Sulfato ferroso	19	190	Solúvel
	Sulfato férrico	23	230	Solúvel
	Quelato	5	50	Solúvel
Manganês	Sulfato manganoso	26	260	Solúvel
	Óxido manganoso	41	410	Insolúvel
	Silicato	2	20	Insolúvel
	Quelato	5	50	Solúvel
Molibdênio	Molibdato de sódio	39	390	Solúvel
	Molibdato de amônio	54	540	Solúvel
	Silicato	0,1	1	Insolúvel
Zinco	Sulfato de zinco	20	200	Solúvel
	Óxido	50	500	Insolúvel
	Silicato	3	30	Insolúvel
	Quelato	7	70	Solúvel

## 9.2 Adubação com micronutrientes

Existem grandes diferenças de comportamento de espécies vegetais e até mesmo de variedades dentro das mesmas espécies, na suscetibilidade a deficiências de micronutrientes. Assim, nas tabelas de adubação das culturas, a análise de solo para micronutrientes é considerada naqueles casos em que ocorreram deficiências, em São Paulo, principalmente para zinco e boro e, em poucos casos, para cobre e manganês. Ainda não está sendo feita análise de solos para molibdênio.

As recomendações de adubação de micronutrientes, quando indicadas nas tabelas de adubação das culturas, são para aplicações localizadas, no sulco ou em covas, ou mesmo na superfície do solo, para culturas perenes, exceto naqueles casos em que é prescrita a aplicação foliar.

Em aplicações localizadas, as formas solúveis em água são mais prontamente disponíveis, principalmente para culturas de crescimento rápido. As fontes insolúveis são favorecidas pelo maior contato com o solo, propiciado por incorporação em área total ou com a terra de sulcos ou covas.

Dos micronutrientes, apenas o cloro e o boro apresentam mobilidade acentuada no solo, entretanto, não existe registro de ocorrência de deficiências de cloro nas condições de São Paulo. Já o boro, pela sua mobilidade, pode ser aplicado em adubação de cobertura, até em culturas anuais.

Os micronutrientes, com exceção do ferro, apresentam efeito residual das adubações que podem estender-se por vários anos, dependendo das quantidades aplicadas. Assim, a análise de solo pode ser usada para acompanhar as variações sendo, em geral, bastante fácil atingir valores altos. Essa é uma informação especialmente importante, no caso de culturas intensivas que recebem várias aplicações por ano, possibilitando, com o monitoramento pela análise de solo, evitar acúmulos que podem tornar-se tóxicos, o que é mais provável de ocorrer para boro.

O molibdênio pode ser aplicado, de maneira muito eficiente, junto com as sementes. Isso é possível pelas baixas quantidades do nutriente exigidas pelas plantas, o que não ocorre com os demais micronutrientes.

A aplicação foliar pode ser utilizada para os micronutrientes, com solução de sais inorgânicos solúveis em água. Nos casos em que isso é recomendado, as concentrações preconizadas são dadas nas tabelas de adubação. Para diversas culturas perenes, a pulverização foliar com micronutrientes é uma rotina, aproveitando-se a aplicação de pesticidas. Para as hortaliças, a prática é também bastante comum, mas para culturas anuais extensivas, a adubação foliar de micronutrientes em geral só se justifica em situações de emergência. Em todas as situações, quando houver deficiência de zinco e manganês, é recomendável a aplicação ao solo, de preferência no plantio.

Cleide Aparecida de Abreu  
e Bernardo van Raij

Seção de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas-IAAC

O Instituto Agrônômico introduziu no Boletim Técnico 100 - Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo (Raij et al., 1996) os valores para interpretação das análises de solo, sendo acrescentando as indicações de Abreu, 2009 dos valores para classificação como muito alto e tóxico como pode ser visto na Tabela 10.

**Tabela 10** - Interpretação de resultados de análise de micronutrientes em solos para o estado de São Paulo

Classificação para o nutriente	Boro (B)	Cobre (Cu)	Ferro (Fe)	Manganês (Mn)	Zinco (Zn)
	(água quente)	DTPA <sup>(1)</sup>			
	----- mg dm <sup>-3</sup> -----				
<b>Baixo</b> <sup>(2)</sup>	0 a 0,20	0 a 0,20	0 a 4	0 a 1,2	0 a 0,50
<b>Médio</b> <sup>(2)</sup>	0,21 a 0,60	0,30 a 0,80	5,0 a 12,0	1,3 a 5,0	0,60 a 1,20
<b>Alto</b> <sup>(3)</sup>	0,61 – 1,20	0,81 – 1,50	12,1 – 24,0	5,1 – 9,0	1,21 – 2,40
<b>Muito Alto</b> <sup>(3)</sup>	1,21-3,0	1,51 – 15,0	24,1-60,0	9,1 – 50,0	2,41 – 15,0
<b>Tóxico</b> <sup>(3)</sup>	>3,0	>50,0	>100,0 <sup>(4)</sup>	?	>130

Fontes: Raij et al. (1996) e adaptado de Abreu (2009)

Notas:

<sup>(1)</sup> análises determinadas com a extração por uma solução de DTPA

<sup>(2)</sup> valores indicados por Raij et al. (1996)

<sup>(3)</sup> valores indicados por Abreu (2009)

<sup>(4)</sup> indicados por Abreu (2009) considerando condições de baixo P e K e drenagem inadequada.

## **DADOS DE RECOMENDAÇÕES – TAXAS DE APLICAÇÃO**

### **Recomendações de micronutrientes para o Estado de São Paulo**

Conforme o Boletim Técnico 100, Raij et al. (1996), “as deficiências de micronutrientes em culturas representam uma preocupação crescente, já que elas vêm-se acentuando, podendo acarretar sérios prejuízos na produtividade. O cultivo em solos de baixa fertilidade, a calagem e o aumento da produtividade, são fatores que têm favorecido o aumento das deficiências de micronutrientes.”.

Ainda conforme os autores, a análise de solo para micronutrientes introduzida nesta publicação será um importante instrumento para orientar a adubação e como existem grandes diferenças entre espécies vegetais, nas tabelas de adubação das culturas são considerados os casos em que ocorreram deficiências, principalmente para Zinco e Boro e em poucos casos para Cobre e Manganês.

Na Tabela 16 resumimos as indicações para o estado de São Paulo, de adubação com micronutrientes para as principais culturas, conforme Raij et al. (1996).

**Tabela 16 - Recomendações de micronutrientes para o Estado de São Paulo – Boletim 100 - IAC**

CULTURA	RECOMENDAÇÕES			
	Zinco no solo	< 0,6	3,0 kg Zn/ha	
Algodão (p.109)	Boro no solo	<0,21	1,0 kg B/ha	Aumentar para 1,2 kg se algum sintoma de deficiência tiver se manifestado
		0,21-0,60	0,5 a 1,0 kg B/ha	
Arroz (p.48-50)	Zinco no solo	< 0,60	3,0 kg de Zn/ha	
		0,6-1,2	2,0 de Zn kg/ha	
Batata (p.225)	Boro no solo	< 0,21	2,0 kg de B/ha	
		0,21 – 0,60	1,0 kg de B/ha	
Brócolos, Couve-flor e Repolho (p.175)		3,0 a 4,0 kg de B/ha		Aplicar juntamente com os demais adubos de plantio
Café (p.100)	Zinco no solo	< 0,50	2,0 kg de Zn/ha	Aplicar 2 kg/ha de Manganês quando o teor no solo for menor que 1,5 mg/dm <sup>3</sup>
		0,60 – 1,2	1,0 kg de Zn/ha	
	Boro no solo	< 0,21	1,0 kg de B/ha	
		0,21 – 0,60	2,0 kg de B/ha	
Cana-de-açúcar (p.238)	Zinco no solo	0 – 0,5	5,0 kg de Zn/ha	
	Aplicar 4 kg/ha de Cobre quando o teor no solo for de até 0,2 mg/dm <sup>3</sup>			
Citros (p.134)	2 kg de B/ha em pomares com sintomas intensos de deficiência de Boro.			
Eucalipto (p.257)	Zinco no solo	<0,6	1,5 kg de Zn/ha	
	Boro no solo	<0,21	1,0 kg de B/ha	
Feijão (p.194)	Zinco no solo	<0,6	3,0 kg de Zn/ha	
	Boro no solo	<0,21	1,0 kg de B/ha	
Forrageiras (p.270-271)	Zinco no solo	0 – 0,5	2 a 5 kg de Zn/ha	Doses maiores para capineiras e fenação
		0,6 – 1,2	0 a 3 kg de Zn/ha	
Mandioca (p.228)	Zinco no solo	<0,6	4,0 kg de Zn/ha	A adubação pode ser dispensada se plantada em rotação após cultura adubada
		0,6 – 1,2	2,0 kg de Zn/ha	
Milho (p.56)	Zinco no solo	<0,6	4,0 kg de Zn/ha	
		0,6 – 1,2	2,0 kg de Zn/ha	
Soja (p.202)	Na suspeita de ocorrência de deficiência de micronutrientes realizar análise de solo e foliar e constatada a deficiência aplicar 5 kg de Zn/ha e/ou 2 kg de Cu/ha e/ou 1 kg de B/ha			
	Em solos deficientes em Manganês (teor no solo até 1,5 mg/dm <sup>3</sup> ) aplicar 5 kg de Mn/ha			

Fontes: Raij et al. (1996)

Nota-se que as dosagens recomendadas são baixas, da ordem de 1 a 5 kg/ha para Zinco, de 0,5 a 4,0 kg/ha para o Boro e em casos esporádicos para Cobre na ordem de 2,0 a 4,0 kg/ha e Manganês de 2,0 a 5,0 kg/ha.

Ressalte-se também a recomendação de acompanhamento dos níveis de fertilidade do solo que indicará a necessidade ou não de aplicação de micronutrientes.