

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

Sistemas de Produção 17

Tecnologias de produção de soja

Claudine Dinali Santos Seixas

Norman Neumaier

Alvadi Antonio Balbinot Junior

Francisco Carlos Krzyzanowski

Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite

Editores Técnicos

**Embrapa Soja
Londrina, PR
2020**

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Soja

Rodovia Carlos João Strass, s/n, acesso Orlando Amaral
Caixa Postal 231, CEP 86001-970, Distrito da Warta, Londrina/PR
Fone: (43) 3371 6000
www.embrapa.br/soja
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: *Ricardo Vilela Abdelnoor*

Secretário-Executivo: *Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite*

Membros: *Clara Beatriz Hoffmann-Campo, Claudine Dinali Santos Seixas, José Marcos Gontijo Mandarin, Liliane Marcia Mertz-Henning, Marcelo Hiroshi Hirakuri, Mariangela Hungria da Cunha, Norman Neumaier e Vera de Toledo Benassi*

Supervisão editorial: *Vanessa Fuzinatto Dall´Agnol*

Normalização bibliográfica: *Valéria de Fátima Cardoso*

Editoração eletrônica: *Vanessa Fuzinatto Dall´Agnol*

Fotos da capa: *RR Rufino (Arquivo Embrapa Soja)*

1ª edição

1ª impressão (2020): 5.000 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).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Soja

Tecnologias de Produção de Soja / Claudine Dinali Santos Seixas... [et al.] editores técnicos. – Londrina : Embrapa Soja, 2020.
347 p. - (Sistemas de Produção / Embrapa Soja, ISSN 2176-2902 ; n. 17).

1. Sistema de produção. 2. Economia agrícola. 3. Produção agrícola. 4. Soja. I. Seixas, Claudine Dinali Santos. II. Neumaier, Norman. III. Balbinot Junior, Alvadi Antonio. IV. Krzyzanowski, Francisco Carlos. V. Leite, Regina Maria Villas Bôas de Campos. VI. Série.

CDD: 633.34 (21. ed.)

Capítulo 7

Fertilidade do solo e avaliação do estado nutricional da soja

*Adilson de Oliveira Junior, Cesar de Castro,
Fábio Alvares de Oliveira, Dirceu Klepker*

Introdução

Nos últimos anos o rendimento da soja no Brasil tem crescido, não só em função do maior potencial produtivo das cultivares, como também da melhoria do ambiente produtivo, com destaque para o manejo do solo. Este aumento dos patamares de produtividade, que pode atingir o dobro da produtividade média brasileira atual, exige, além de maior quantidade de fertilizantes, a adubação mais equilibrada e que considere não só as quantidades dos nutrientes, mas também as suas relações. Assim, faz-se necessário melhorar as avaliações técnicas para possibilitar o manejo adequado da adubação, com racionalização do uso de fertilizantes e conseqüente maior resposta para aumentos de produtividade das culturas nos sistemas de produção.

Contudo, apesar dos avanços tecnológicos têm ocorrido problemas, não em função das novas e eficientes tecnologias, mas sim, devido aos desbalanços nutricionais ocasionados pelo uso incorreto dos atuais conceitos de manejo da fertilidade e pelo uso ineficiente das análises de solo, e do pouco emprego da análise de tecido.

Outra questão importante é que os fertilizantes tem um peso significativo nos custos de produção, com grande impactos na rentabilidade da cultura. Assim, ter como estratégia de aumento de produtividade, além da escolhas de cultivares mais adaptadas a cada região, o conhecimento da fertilidade do solo, e a aplicação das quantidades adequadas de nutrientes é um grande passo para o sucesso econômico da atividade agrícola e da sustentabilidade ambiental.

Para tanto, a coleta criteriosa de amostras de solo, independente do aparecimento de sintomas nas culturas que compõem os sistemas de produção, análise e interpretação dos resultados é um dos primeiros passos para possível correção de problemas de fertilidade do solo. A análise foliar, apresenta-se como uma possibilidade complementar às interpretações das análises de solo e capaz de identificar os nutrientes que estariam comprometendo a maior produtividade da soja.

Por fim, o desenvolvimento e aprimoramento de técnicas de manejo do solo, que considerem os fatores primordiais como reciclagem e balanço de nutrientes e a preservação de água no solo, estabelecendo estratégias integradas que mantenham ou melhorem a fertilidade do sistema de produção empregado deveria ser a base para o aumento da produtividade e sustentabilidade dos sistemas de produção com soja.

Amostragem do solo

A amostragem do solo é a primeira e a principal etapa de um programa de avaliação da fertilidade do solo e do manejo da adubação, pois é com base nos resultados da análise química da amostra de solo que será realizada a sua interpretação e definidas as possíveis doses de corretivos e de fertilizantes a serem aplicadas.

A amostragem do solo, para fins de indicação de fertilizantes deve ser realizada na maior janela disponível dentro dos diversos sistemas de produção. Normalmente, isso ocorre durante os meses de agosto e setembro no sistema soja/milho safrinha e nos meses de março/abril no sistema soja/trigo nas regiões mais frias do País. Caso haja necessidade de calagem, a retirada da amostra e a análise devem ser realizadas em

tempo hábil que possibilite a aplicação do calcário pelo menos três meses antes da semeadura da cultura de verão.

As amostras devem ser coletadas em áreas homogêneas quanto às características de solo, relevo e histórico de adubação e de utilização. Para maior representatividade, devem ser coletadas de 10 a 20 amostras simples, em pontos distribuídos aleatoriamente em cada área. O conjunto de amostras simples deve ser homogeneizado e a seguir, retirada uma fração que irá constituir uma amostra composta de aproximadamente 500 g.

No caso da amostragem para obtenção dos mapas de variabilidade espacial dos atributos químicos do solo, especial atenção deve ser dada ao plano de amostragem de forma que os critérios geoestatísticos sejam plenamente atendidos.

Na retirada das amostras do solo, o interesse principal é pela camada superficial do solo que, normalmente, é a mais intensamente alterada pelo manejo do solo, pelas aplicações de corretivos e fertilizantes e restos culturais, e a mais intensamente explorada pelas raízes. A amostragem deverá, portanto, contemplar essa camada, ou seja, os primeiros 20 cm de profundidade.

No sistema plantio direto (SPD), em especial em áreas com histórico de aplicação de fertilizantes e corretivos, indica-se que, sempre que possível, a amostragem seja realizada em duas camadas (0 cm a 10 cm e 10 cm a 20 cm), com o objetivo principal de avaliar o gradiente de disponibilidade de nutrientes e a variação da acidez nas duas camadas.

Para a análise da acidez subsuperficial e da disponibilidade de enxofre, deve-se coletar as amostras na profundidade de 20 cm a 40 cm.

Correção do solo

Os nutrientes têm sua disponibilidade determinada por vários fatores, entre eles o valor do pH (medida da atividade de íons hidrogênio na solução do solo).

A Figura 1 representa a variação nas concentrações de nutrientes e de alumínio, em formas disponíveis às plantas, em função do pH do solo. A disponibilidade varia como consequência do aumento ou da diminuição da solubilidade dos diversos compostos presentes no solo e da capacidade de troca de cátions (CTC), em razão da predominância de cargas dependentes de pH nos solos tropicais. De modo geral o intervalo de pH (H_2O) que possibilita o melhor aproveitamento do conjunto dos nutrientes do solo e, também, a insolubilização do alumínio tóxico, varia de 6,0 a 6,8.

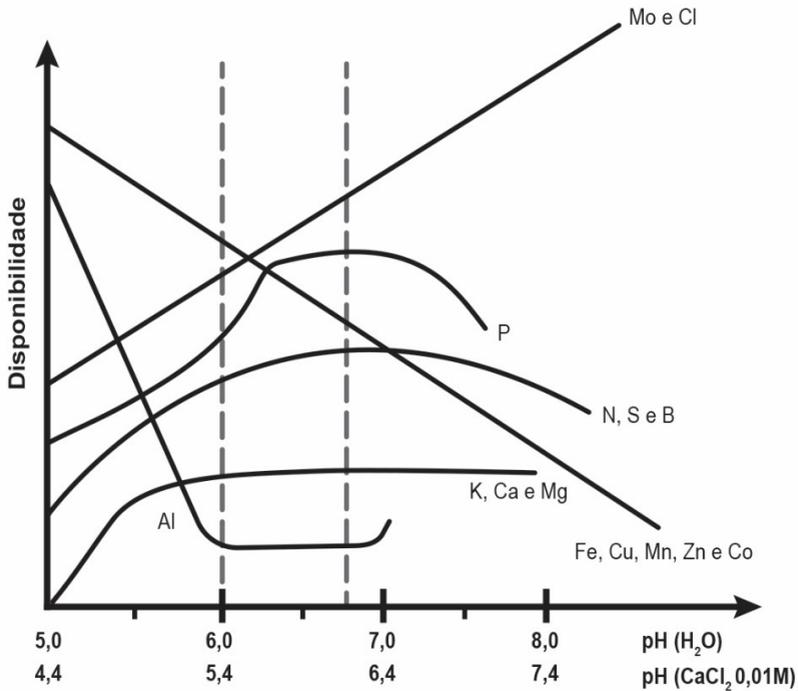


Figura 1. Relação entre o pH e a disponibilidade de nutrientes e de alumínio no solo.

Fonte: adaptado de Malavolta (1980).

Calagem

A calagem é realizada a partir da interpretação dos resultados da análise química do solo. Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros para a interpretação da análise de solo.

A recomendação de calcário depende do poder tampão do solo e do sistema de produção adotado. Além disso, o efeito da calagem também depende da qualidade do calcário (PRNT) e das quantidades aplicadas no solo, da forma de aplicação, entre outros. Estes fatores interferem no efeito residual da calagem e, portanto, a análise química de solo deverá ser realizada periodicamente para a tomada de decisão quanto a necessidade de reaplicação do corretivo.

Tabela 1. Atributos químicos do solo (0 a 20 cm) como referência para interpretação da análise química do solo, para a cultura da soja.

Níveis	C	M.O.	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Saturação na CTC				Relações		
					V	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
	g/dm ³		cmol _c /dm ³		%						
Solos com CTC < 5 cmol _c /dm ³											
Baixo	< 8	< 15	< 1,0	< 0,5	< 35	< 22	< 10	< 2,5	< 2,0	< 8	< 4
Médio	8-14	15-25	1,0-1,8	0,5-0,9	35-55	22-40	10-16	2,5-3,0	2,0-3,0	8-16	4-8
Alto	> 14	> 25	> 1,8	> 0,9	> 55	> 40	> 16	> 3,0	> 3,0	> 16	> 8
Solos com CTC ≥ 5 cmol _c /dm ³											
Baixo	< 12	< 20	< 1,9	< 0,9	< 55	< 35	< 12	< 2,5	< 2,0	< 10	< 4
Médio	12-24	20-40	1,9-6,5	0,9-2,5	55-70	35-50	12-22	2,5-4,0	2,0-3,2	10-20	4-10
Alto	> 24	> 40	> 6,5	> 2,5	> 70	> 50	> 22	> 4,0	> 3,2	> 20	> 10

Calagem no sistema convencional

O cálculo da quantidade de calcário é referente à correção da acidez na camada 0 cm-20 cm de profundidade, por meio da incorporação do corretivo, e pode ser feito segundo os métodos abaixo:

- Neutralização do Al³⁺ e Fornecimento de Ca²⁺ e Mg²⁺ (Alvarez V; Ribeiro, 1999).

Este método é, particularmente, adequado para solos sob vegetação de Cerrados e, em especial, aqueles de baixa CTC nos quais ambos os efeitos são importantes.

No cálculo da necessidade de calagem (NC), são consideradas tanto as características relacionadas ao poder tampão do solo (Y) quanto as exigências da cultura, como a saturação por Al³⁺ tolerada (m_l) e a necessidade mínima de Ca²⁺ + Mg²⁺

A expressão para cálculo da NC, em t/ha, é:

$$NC = Y \times [Al^{3+} - (m_t \times \frac{CTC_e}{100})] + [2 - (Ca^{2+} + Mg^{2+})]$$

onde:

Y = capacidade tampão de acidez do solo

Al^{3+} = alumínio trocável ($cmol_c/dm^3$)

m_t = saturação por alumínio tolerada pela cultura e/ou sistema de produção;

CTCe = capacidade de troca de cátions efetiva do solo, em $cmol_c/dm^3$

Ca^{2+} = cálcio trocável ($cmol_c/dm^3$)

Mg^{2+} = magnésio trocável ($cmol_c/dm^3$)

O valor de Y pode ser calculado em função do teor de argila ou do fósforo remanescente (P-rem), conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Valores para cálculo da capacidade tampão de acidez do solo (Y), estimados a partir do teor de argila e do teor de fósforo remanescente (P-rem).

Argila	$Y^{(1)}$	P-rem	$Y^{(2)}$
%		mg/L	
10	0,66	4	3,52
15	0,95	8	3,07
20	1,23	12	2,66
25	1,50	16	2,28
30	1,76	20	1,94
35	2,00	24	1,62
40	2,23	28	1,34
45	2,45	32	1,09
50	2,65	36	0,86
55	2,85	40	0,66
60	3,02	44	0,49
65	3,19	48	0,33
70	3,34	52	0,20
75	3,48	56	0,09
80	3,61	60	0,00

Equações: $Y^{(1)} = 0,0302 + 0,06532 \times Arg - 0,000257 \times Argila^2$

$Y^{(2)} = 4,002 - 0,125901 \times P\text{-rem} + 0,001205 \times P\text{-rem}^2 - 0,00000362 \times P\text{-rem}^3$

- Saturação por bases do solo

Este método consiste na elevação da saturação por bases trocáveis e se fundamenta na correlação positiva existente entre o valor de pH e a saturação por bases.

O cálculo da necessidade de calagem (NC) é feito por meio da fórmula:

$$NC \text{ (t/ha)} = \frac{(V_2 - V_1) \times T}{PRNT}$$

onde:

V_2 = valor da saturação por bases esperada (%);

V_1 = valor da saturação por bases do solo antes da correção (%);

$[V_1 = (SB/T) \times 100]$, sendo, $SB = Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+$ (cmol_c/dm³);

T = Capacidade de Troca de Cátions (cmol_c/dm³);

$T = SB + H + Al$ (cmol_c/dm³);

PRNT = Poder Relativo de Neutralização Total do corretivo (%).

Em função das características químicas e físicas dos solos predominantes no País, tem-se uma variação no valor adequado de saturação por bases (V_2), que determinará o maior rendimento econômico. Nas áreas tradicionais de cultivo de soja no estado do Paraná e para o estado de São Paulo utiliza-se V_2 igual a 70% e para o estado de Mato Grosso do Sul, o V_2 é de 60%. Nos demais estados da região central do Brasil, com predominância de solos formados sob vegetação de Cerrados e ricos em óxidos de Fe e de Al (Sousa; Lobato, 2004), o valor que satisfaz a maioria das culturas de sequeiro é de 50%.

Calagem no sistema plantio direto (SPD)

Antes de iniciar o SPD, é fundamental corrigir a acidez do solo na camada 0 cm–20 cm, com incorporação do calcário. Em função dos processos de acidificação do solo, é necessário realizar o monitoramento periódico da acidez do solo.

Para solos com histórico de aplicação de calcário em superfície, a amostragem do solo deve ser realizada de 0 cm–10 cm e de 10 cm–20 cm

de profundidade. O cálculo da NC deve ser feito com os valores médios das duas profundidades. Recomenda-se utilizar as mesmas fórmulas de cálculo do item anterior.

A dose recomendada de calcário pode ser aplicada de forma parcelada ou total, dependendo das quantidades, do custo e da logística da região.

Qualidade e uso do calcário

Para que a calagem atinja os objetivos de neutralização do alumínio trocável e/ou de elevação dos teores de cálcio e magnésio, algumas condições básicas devem ser observadas:

- o calcário deverá passar 100% em peneira com malha de 2 mm;
- o calcário deverá apresentar teores de $\text{CaO} + \text{MgO} > 38\%$;
- a escolha do calcário deve levar em consideração os teores trocáveis de cálcio e magnésio e também a relação Ca/Mg do solo (Tabela 1), devendo-se dar preferência ao calcário com pelo menos 12% de MgO, em solos que contenham teores baixos ou médios de Mg^{2+} , ou ainda, quando a relação Ca/Mg é elevada.
- a distribuição desuniforme pode aumentar a variabilidade espacial dos atributos relacionados à acidez do solo e causar ou agravar desequilíbrios nutricionais.

Gessagem

Os solos podem apresentar problemas de acidez subsuperficial, uma vez que, o efeito da calagem predomina na camada superficial. Assim, camadas mais profundas do solo (abaixo de 20 cm) podem apresentar toxidez por alumínio trocável (Al^{3+}), mesmo em solos adequadamente corrigidos até 20 cm. Esse problema pode limitar a produtividade, principalmente nas regiões onde é mais frequente a ocorrência de veranicos ou em cultivos de 2ª safra.

Em função da maior mobilidade no perfil do solo, o gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) diminui a toxidez por Al^{3+} e aumenta os teores de Ca^{2+} e de enxofre em subsuperfície, resultando em um ambiente menos limitante para o desenvolvimento das raízes das plantas.

O gesso deve ser recomendado em áreas onde a análise de solo, na camada de 20 cm a 40 cm, indicar uma saturação de alumínio maior que 20% ou quando o teor de Ca^{2+} for inferior a $0,5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$.

A necessidade de gesso (NG) pode ser calculada em função do teor de argila no solo, conforme a equação abaixo (Sousa; Lobato, 2004):

$$\text{NG (kg/ha)} = 50 \times \text{Teor de Argila (\%)}$$

Ou, mais especificamente para a Região Sul, em função da saturação por cálcio na CTC efetiva (CTCe), quando esta estiver com menos de 50% ocupada por cálcio. Assim, o método se baseia em elevar a saturação por Ca na CTCe do subsolo (20 cm–40 cm) a 60% (Caires; Guimarães, 2018).

$$\text{NG (t/ha)} = (0,6 \times \text{CTCe} - \text{Ca}^{2+}) \times 6,4$$

onde:

- CTCe = CTC efetiva (SB + Al)
- Ca^{2+} = Ca^{2+} trocável em $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$
- 0,6 = ocupação de 60% de Ca na CTCe
- 6,4 = Constante gerada pelo ajuste estatístico

Indicações regionalizadas para correção da acidez do solo Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (Reunião..., 2016)

A obtenção de amostras representativas das condições químicas do solo a ser cultivado é a etapa inicial do sistema de recomendação de adubação e calagem. A profundidade de amostragem varia com o sistema de preparo do solo, como consta na Tabela 3.

Tabela 3. Camadas e amostradores sugeridos para a amostragem de solo em diferentes condições de cultivo de soja.

Sistema de cultivo/ Condição	Camada de solo (cm)	Amostrador
Com revolvimento do solo ou implantação do sistema plantio direto	0 - 20	Todos
Sistema plantio direto consolidado	0 - 10 e 10 - 20 ⁽¹⁾	Pá de corte ou trado calador posicionados no sentido transversal às linhas de adubação ⁽²⁾

⁽¹⁾ A amostragem separando as camadas de 0 cm a 10 cm e de 10 cm a 20 cm é necessária para o monitoramento da acidez e a recomendação da calagem, conforme sugerido na Tabela 4. Em solo com incorporação de calcário e fertilizantes fosfatados e potássicos, antes da implantação do sistema plantio direto, não é necessário amostrar a camada de 10 cm–20 cm.

⁽²⁾ Procedimento alternativo ao da pá de corte.

Fonte: Manual... (2016).

De forma geral, o pH em água adequado para a cultura da soja situa-se entre 5,5 e 6,0. A quantidade de corretivo da acidez e a forma de aplicação variam com o sistema de manejo do solo e outros critérios que constam na Tabela 4.

Tabela 4. Critérios sugeridos para a aplicação de calcário em diferentes condições de cultivo de soja.

Sistema de cultivo/ Condição	Amostragem do solo (cm)	pH de referência	Tomada de decisão	Quantidade de calcário	Modo de aplicação	
Convencional	0 a 20	6,0	$\text{pH}_{\text{água}} < 5,5^{(1)}$	1 SMP para $\text{pH}_{\text{água}}$ 6,0	Incorporado ⁽²⁾	
SPD	Implantação do sistema		0 a 20	$\text{pH}_{\text{água}} < 5,5$	1 SMP para $\text{pH}_{\text{água}}$ 6,0	Incorporado ⁽²⁾
	Sistema consolidado, sem restrições na camada de 10 cm a 20 cm		0 a 10 ⁽⁴⁾	$\text{pH}_{\text{água}} < 5,5^{(1)}$	$\frac{1}{4}$ SMP para $\text{pH}_{\text{água}}$ 6,0	Superficial ⁽⁵⁾
	Sistema consolidado, com restrições ⁽³⁾ na camada de 10 cm a 20 cm		10 a 20 ^{(4), (6)}	$\text{pH}_{\text{água}} < 5,5$ e $\text{Al} \geq 30\%$	1 SMP para $\text{pH}_{\text{água}}$ 6,0 ⁽⁷⁾	Incorporado ^{(2),(3)}

⁽¹⁾ Não aplicar quando $V \geq 65\%$ e saturação por Al na $\text{CTC}_e < 10\%$.

⁽²⁾ Quando a disponibilidade de P e de K for menor do que o nível crítico recomenda-se fazer a adubação de correção com incorporação de fertilizantes aproveitando a mobilização do solo pela calagem.

⁽³⁾ Considerar para a decisão de incorporar o calcário, a produtividade das culturas abaixo da média local, especialmente em anos de estiagem; compactação do solo restringindo crescimento radicular em profundidade; e disponibilidade de fósforo na camada de 10 cm a 20 cm abaixo do teor crítico.

⁽⁴⁾ Amostrar separadamente as camadas de 0 cm a 10 cm e de 10 cm a 20 cm.

⁽⁵⁾ Quantidade aplicada em superfície limitada a 5 t/ha (PRNT 100%).

⁽⁶⁾ Tomada de decisão independe da condição do solo da camada 0 cm a 10 cm.

⁽⁷⁾ Usar valor de SMP médio das duas camadas (0 cm a 10 cm e 10 cm a 20 cm), para definir a dose de calcário a ser incorporado.

Fonte: Manual... (2016).

Cálculo da quantidade de corretivo a aplicar

A quantidade de corretivo indicada para a elevação do pH em água do solo a 5,5 ou 6,0 é determinada com base no valor do índice SMP do solo (Tabela 5). Essas doses foram estabelecidas para a camada de 0 cm–20 cm e para calcários com valor de PRNT de 100%. Elas devem ser ajustadas de acordo com a camada de solo a ser corrigida e com o valor do PRNT do corretivo.

Tabela 5. Quantidade de calcário necessária para elevar o pH_{água} do solo a 5,5 ou 6,0.

Índice SMP	pH _{água} desejado		Índice SMP	pH _{água} desejado	
	5,5	6,0		5,5	6,0
	t/ha ⁽¹⁾			t/ha ⁽¹⁾	
≤4,4	15,0	21,0	5,8	2,3	4,2
4,5	12,5	17,3	5,9	2,0	3,7
4,6	10,9	15,1	6,0	1,6	3,2
4,7	9,6	13,3	6,1	1,3	2,7
4,8	8,5	11,9	6,2	1,0	2,2
4,9	7,7	10,7	6,3	0,8	1,8
5,0	6,6	9,9	6,4	0,6	1,4
5,1	6,0	9,1	6,5	0,4	1,1
5,2	5,3	8,3	6,6	0,2	0,8
5,3	4,8	7,5	6,7	0,0	0,5
5,4	4,2	6,8	6,8	0,0	0,3
5,5	3,7	6,1	6,9	0,0	0,2
5,6	3,2	5,4	7,0	0,0	0,0
5,7	2,8	4,8	-	-	-

⁽¹⁾ Quantidade de corretivo de acidez com PRNT 100%, para a camada de 0 cm–20 cm.

Fonte: Manual... (2016).

Em alguns solos, principalmente os de textura arenosa e baixo poder tampão, o índice SMP pode indicar quantidades muito pequenas de corretivo ou mesmo não indicar a correção da acidez, embora o valor do pH em água possa ser menor que o mínimo preconizado para a cultura. Nesses solos, a necessidade de calagem é calculada com base nos

teores de matéria orgânica (MO) e de alumínio trocável (Al^{3+}) do solo, empregando-se as seguintes equações para o solo atingir o pH em água desejado:

- para pH 5,5: $NC = -0,653 + 0,480 MO + 1,937 Al^{3+}$;
- para pH 6,0: $NC = -0,516 + 0,805 MO + 2,435 Al^{3+}$;
- em que, NC: é expressa em t/ha; MO em % e Al^{3+} em $cmol_c/dm^3$.

Calagem em áreas sob sistema convencional

Em áreas sob sistema convencional de preparo do solo, preconiza-se a calagem quando o valor do $pH_{\text{água}}$ for menor que 5,5, desde que o valor da saturação por bases (V) seja menor que 65% e o valor da saturação por Al na CTCe seja maior que 10 (Tabela 4). A dose de calcário a ser aplicada é obtida da Tabela 5, correspondendo à quantidade necessária para elevar o valor do $pH_{\text{água}}$ a 6,0. O corretivo deve ser incorporado uniformemente na camada de 0 cm–20 cm.

Calagem em áreas sob sistema plantio direto

Antes da implantação do sistema plantio direto, em solos ácidos e manejados sob preparo convencional ou sob campo natural, preconiza-se corrigir a acidez da camada arável (0 cm–20 cm), conforme descrito no item anterior e, mediante a incorporação de calcário, com base nos critérios e doses que constam nas Tabelas 4 e 5.

Em solo sob sistema plantio direto consolidado, preconiza-se a calagem superficial quando o valor do $pH_{\text{água}}$ da camada de 0 cm–10 cm for menor que 5,5, o valor V for menor que 65% e a saturação por Al for maior que 10% (Tabela 4). A dose de calcário a ser aplicada é obtida da Tabela 5, correspondendo a um quarto da dose necessária para elevar o pH do solo até 6,0. Essa sugestão considera que houve a correção da acidez da camada mais profunda que 10 cm, quando do estabelecimento do sistema plantio direto e que a reacidificação de solos manejados sem revolvimento ocorre a partir da superfície.

Em solos com acidez e com saturação por Al $\geq 30\%$, na camada de 10 cm a 20 cm, pode ser necessário reiniciar o sistema plantio direto.

Isso é mais importante em áreas em que a produtividade das culturas é menor que a média local, especialmente em anos de estiagem, com compactação do solo, restringindo o crescimento radicular e com baixa disponibilidade de P. Nessa condição, sugere-se a amostragem de solo nas camadas 0 cm–10 cm e 10 cm–20 cm. Se a decisão for por reiniciar o sistema plantio direto, preconiza-se incorporar o calcário ao solo, por aração e gradagem, aplicando a dose para pH 6,0, conforme indicado na Tabela do índice SMP (Tabela 5) e utilizando o valor médio desse índice calculado com o resultado das amostras nas duas profundidades. Deve-se ter cautela em decidir reiniciar o sistema plantio direto, dentre outros motivos, para evitar que ocorra erosão.

Em solo sob sistema plantio direto consolidado, com calagem recente e quando a análise de solo indicar que um dos critérios de decisão de calagem (Tabela 4) não foi atingido, a aplicação de corretivo não necessariamente aumentará o rendimento da soja. Isso decorre do fato do método SMP não detectar o corretivo que ainda não reagiu no solo. Em geral, são necessários três anos para que ocorra dissolução completa do corretivo. Observando-se esses aspectos, evita-se a supercalagem.

Exigências minerais e avaliação do estado nutricional

Exigências minerais

A absorção de nutrientes é determinada por fatores genéticos, edáficos e ambientais relacionados à produção de Matéria Seca Total (MST) e a concentração de nutrientes na planta. Na Tabela 6 são apresentadas as quantidades médias de nutrientes acumuladas pela parte aérea das plantas de cinco cultivares de soja, com grupo de maturidade relativa variando de 5.8 a 6.3 e produtividade média de 3,4 t/ha de grãos e 8,9 t/ha de MST.

A absorção de nutrientes geralmente é proporcional ao acúmulo de MST. Contudo, por causa da variação no Índice de Colheita Aparente ($ICA = \text{matéria seca de grãos} / \text{matéria seca total}$) das cultivares e do efeito de diluição/concentração dos nutrientes, maiores quantidades de nutrientes absorvidas não resultam, necessariamente, em aumentos na

produtividade de grãos. Já as quantidades exportadas (Tabela 6) são diretamente proporcionais à produtividade e à concentração dos nutrientes nos grãos.

Portanto, a reposição dos nutrientes exportados também é um critério essencial para a recomendação de adubação da soja e a manutenção da disponibilidade dos nutrientes do solo em níveis adequados.

Tabela 6. Quantidade de nutrientes **ACUMULADA** e **EXPORTADA** pela cultura da soja⁽¹⁾.

Partes da planta	Nutrientes										
	N	P ⁽⁴⁾	K ⁽⁴⁾	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	kg/ha						g/ha				
Grãos ⁽²⁾	187	16,6	61	10	9	9,5	106	39	223	135	142
Restos Culturais	83	6,8	104	66	28	4,9	177	29	1062	545	116
Total ⁽³⁾	270	23,4	165	76	37	14,4	283	68	1285	680	258
% Exportada	69	71	37	13	24	66	38	58	17	20	55
	kg/t de grãos						g/t de grãos				
Grãos	54	4,8	18	2,8	2,5	2,8	31	11,5	65	39	41
Restos Culturais	24	2,0	30	19,3	8,2	1,4	51	8,3	310	159	34
Total	78	6,8	48	22,1	10,7	4,2	82	19,8	375	198	75

⁽¹⁾ Cultivares: Cv.1: BRS 360RR, Safra 2011/2012, GMR 6.2, Índice de Colheita Aparente (ICA) 0,445; Cv.2: BRS 1010IPRO, Safra 2014/2015, GMR 6.1, ICA 0,408; Cv.3: BRS 360RR, Safra 2010/2011, GMR 6.2, ICA 0,396; Cv.4: V-Top RR, Safra 2013/2014, GMR 5.8, ICA 0,301; Cv.5: DM 6563IPRO, Safra 2014/2015, GMR 6.3, ICA 0,407.

⁽²⁾ Quantidade de nutrientes contida nos grãos das plantas no estágio final de desenvolvimento (R8, maturação plena) – Umidade base 13%.

⁽³⁾ Quantidade de nutrientes contida no tecido vegetal das plantas no estágio de Máximo Acúmulo de Matéria Seca (R6).

⁽⁴⁾ Fatores de conversão: P → P₂O₅ = multiplicar por 2,29; K → K₂O = multiplicar por 1,21.

Diagnose foliar

A avaliação do estado nutricional das plantas é um método de interpretação baseado na correlação positiva existente entre a concentração dos nutrientes nas plantas e o potencial de produção da soja. O órgão que melhor representa o estado nutricional da soja é a folha recém madura coletada no início do florescimento/florescimento pleno e, por essa ra-

zão, a técnica é conhecida por diagnose foliar. Por essa técnica, os resultados da análise química de folhas são divididos em classes de teores (Tabelas 7, 8 e 9) ou índices de equilíbrio dos nutrientes para a cultura da soja (DRIS, 2003).

Para a realização de uma amostragem de folhas representativa do talhão de soja, coleta-se, o terceiro ou o quarto trifólios da haste principal, sem pecíolo, considerados a partir do ápice das plantas de um mínimo de 25 plantas. As folhas coletadas devem estar livres de poeira, bem como de possíveis contaminações por produtos aplicados via foliar e deverão ser acondicionadas em sacos de papel para secagem à sombra.

A época ideal de amostragem de folhas, no entanto, difere em função do tipo de crescimento. Deve ser considerado o estágio de desenvolvimento de aproximadamente 50% das plantas do talhão. Para as cultivares que possuem tipo de crescimento determinado, a amostragem deve ser realizada no início do florescimento/florescimento pleno (Estádios R1 e R2). Por outro lado, o estágio fenológico para amostragem de folhas das cultivares que possuem tipo de crescimento indeterminado é o R2, podendo-se estender até o início do estágio R3, desde que as plantas estejam no estágio vegetativo V8/V10. No Anexo 1 são apresentados os estádios de desenvolvimento da soja com tipo de crescimento determinado e indeterminado (Oliveira Junior et al., 2016).

Na Tabela 7, são apresentados os teores utilizados para a interpretação das análises de folhas, sem pecíolo, de soja de tipo de crescimento determinado e indeterminado.

Tabela 7. Classes e teores de nutrientes utilizados na interpretação dos resultados das análises de folhas, sem pecíolo, de soja de tipos de crescimento determinado e indeterminado.

Elemento	Baixo	Adequado	Alto
	g/kg		
N	< 45,0	45,0 a 65,0	> 65,0
P	< 2,8	2,8 a 4,5	> 4,5
K	< 18,0	18,0 a 25,0	> 25,0
Ca	< 6,0	6,0 a 10,0	> 10,0
Mg	< 2,8	2,8 a 5,0	> 5,0
S	< 2,4	2,4 a 4,0	> 4,0
mg/kg			
B	< 40	40 a 60	> 60
Cu	< 6	6 a 12	> 12
Fe	< 90	90 a 180	> 180
Mn	< 70	70 a 150	> 150
Zn	< 30	30 a 45	> 45

Especificamente para o estado do Paraná, são apresentadas na Tabela 8, as faixas indicativas de suficiência de nutrientes definidas para a soja de tipo de crescimento indeterminado.

Tabela 8. Teores de nutrientes utilizados na interpretação dos resultados das análises de folhas, sem pecíolo, de soja de tipo de crescimento indeterminado, para o Paraná.

Elemento	Baixo	Adequado	Alto
	g/kg		
N	< 46,0	46,0 a 60,0	> 60,0
P	< 3,0	3,0 a 4,1	> 4,1
K	< 17,5	17,5 a 23	> 23
Ca	< 6,0	6,0 a 9,5	> 9,5
Mg	< 3,0	3,0 a 4,5	> 4,5
S	< 2,2	2,2 a 3,2	> 3,2
mg/kg			
B	< 45	45 a 75	> 75
Cu	< 5,5	5,5 a 11	> 11
Fe	< 80	80 a 175	> 175
Mn	< 100	100 a 170	> 170
Zn	< 35	35 a 55	> 55

Para os estados de Mato Grosso do Sul e de Mato Grosso, a interpretação dos resultados de análise foliar é feita a partir de faixas de teores definidas na Tabela 9. Nesses estados, adota-se como folha índice o terceiro ou quarto trifólio, a partir do ápice, coletado no estágio (R2), podendo-se interpretar o resultado de amostras com ou sem pecíolo.

Tabela 9. Teores de nutrientes utilizados na interpretação dos resultados das análises de folhas de soja para o MS e MT (Estádio R2).

Elemento	Trifólio <u>com</u> pecíolo			Trifólio <u>sem</u> pecíolo		
	Baixo	Adequado	Alto	Baixo	Adequado	Alto
g/kg						
N	< 36,8	36,8 a 46,9	> 46,9	< 50,6	50,6 a 62,4	> 62,4
P	< 2,3	2,3 a 3,4	> 3,4	< 2,8	2,8 a 3,9	> 3,9
K	< 17,3	17,3 a 25,7	> 25,7	< 14,4	14,4 a 20,3	> 20,3
Ca	< 6,8	6,8 a 11,8	> 11,8	< 6,2	6,2 a 11,6	> 11,6
Mg	< 2,9	2,9 a 4,7	> 4,7	< 3,0	3,0 a 4,9	> 4,9
S	< 2,1	2,0 a 3,0	> 3,0	< 2,4	2,4 a 3,3	> 3,3
mg/kg						
B	< 33	33 a 50	> 50	< 37	37 a 56	> 56
Cu	< 6	6 a 11	> 11	< 7	7 a 12	> 12
Fe	< 59	59 a 120	> 120	< 77	77 a 155	> 155
Mn	< 28	28 a 75	> 75	< 38	38 a 97	> 97
Zn	< 31	31 a 58	> 58	< 41	41 a 78	> 78

Fonte: Kurihara et al. (2008).

Adubação da Soja

A adubação da soja deve ser realizada a partir de critérios técnicos que permitam avaliar corretamente a fertilidade do solo e propiciem o uso eficiente dos fertilizantes, o atendimento das necessidades nutricionais das plantas e a máxima eficiência econômica para o produtor. Para tanto, a análise química de solo e de tecido, são ferramentas altamente eficientes. Outra possibilidade de avaliação da adubação é o índice de atendimento às exportações de nutrientes (IAExp) que é calculado a partir do balanço da adubação e indica se o manejo está em equilíbrio, conduzindo à redução ou incremento do teor de nutrientes no solo, com prováveis reflexos na produtividade e/ou nos custos (Item: Balanço da adubação como critério de recomendação de adubação - AFERE)

Nitrogênio

A soja obtém a maior parte do nitrogênio (N) para as funções metabólicas por processos naturais de fixação biológica realizada nos nódulos radiculares, que são associações simbióticas com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*. Assim, a recomendação técnica para o manejo do N na cultura da soja baseia-se na correta inoculação com bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, abordada no capítulo 8 “Fixação biológica de nitrogênio” (FBN).

Existe grande discussão sobre os possíveis benefícios do uso de N mineral na soja, porém a maioria dos resultados obtidos em condições de campo demonstram que a aplicação de N, na semeadura (Oliveira Junior et al., 2015) ou em cobertura via solo e/ou foliar, não traz resultados significativos de produtividade. Entretanto, nos casos de utilização de formulações NPK contendo o MAP (9%–10% N e 50%–55% P_2O_5) como fonte de P, deve-se evitar a aplicação de doses de N superiores a 20 kg/ha, visando o adequado estabelecimento da FBN.

Fósforo e Potássio

O fósforo e o potássio são os nutrientes que devem receber maior atenção na adubação, isso porque, depois do nitrogênio, são os nutrientes exportados em maiores quantidades.

Para elevar ou manter a fertilidade do solo, e atingir o potencial produtivo da soja, com eficiência técnica e econômica, além da disponibilidade desses nutrientes no solo, os critérios para a recomendação de adubação devem considerar a fonte, a dose, a forma e a época de aplicação do fertilizante.

A eficiência dos fertilizantes e a resposta à adubação são altamente dependentes de fatores do clima e principalmente das propriedades físico-químicas e biológicas do solo. Portanto, a recomendação de adubação é regionalizada, com base em resultados da experimentação científica para determinação das curvas de calibração de resposta à adubação.

Região de Cerrados (Sousa et al., 2016)

Adubação fosfatada

A indicação da quantidade de nutrientes é feita com base nos resultados da análise do solo, amostrado na camada de 0 cm a 20 cm. Na Tabela 10 são apresentados os teores de P por Mehlich-1 e resina trocadora de íons. Os níveis críticos de P representam os teores mínimos adequados no solo, suficiente para obtenção de 80% a 90% do rendimento potencial, na ausência de aplicação de P no ano agrícola.

Para a soja sugere-se elevar o teor de P ao limite inferior da classe adequada, de modo que os níveis críticos sejam, 18 mg/dm³, 15 mg/dm³, 8 mg/dm³ e 4 mg/dm³ para solos com teor de argila ≤ 15%, 16% a 35%, 36% a 60% e ≥ 60%, respectivamente.

Tabela 10. Interpretação da análise de solo (Mehlich-1), em função do teor de argila no solo, para indicação de adubação fosfatada, em sistema de sequeiro com culturas anuais.

Classe de disponibilidade de P	Potencial de produtividade %	P Resina	P - Mehlich-1 (em função do teor de argila, %)			
			≤ 15	16 a 35	36 a 60	> 60
		mg/dm ³				
Muito baixo	0–40	0–5	0–6,0	0–5,0	0–3,0	0–2,0
Baixo	41–60	6–8	6,1–12,0	5,1–10,0	3,1–5,0	2,1–3,0
Médio	61–80	9–14	12,1–18,0	10,1–15,0	5,1–8,0	3,1–4,0
Adequado	81–90	15–20	18,1–25,0	15,1–20,0	8,1–12,0	4,1–6,0
Alto	91–100	21–35	25,1–40,0	20,1–35,0	12,1–18,0	6,1–9,0
Muito alto	100	> 35	> 40,0	> 35,0	> 18,0	> 9,0

Recomendação de adubação:

Adubação fosfatada corretiva (fosfatagem): essa adubação visa elevar a disponibilidade de P do solo para a classe “adequada” (Tabela 10). A dose de fertilizante fosfatado necessária para se atingir esse nível de disponibilidade pode ser estimada pelo método baseado na capacidade tampão de P no solo (CTP). A CTP corresponde à dose de P₂O₅ neces-

sária para se elevar em 1 mg/dm^3 o teor de P na camada amostrada de 0 cm a 20 cm do solo e varia com a textura e o extrator de P (Tabela 11). Conhecendo-se o teor atual de P no solo, a dose de P_2O_5 na adubação corretiva é calculada a partir da seguinte equação:

$$\text{Dose de P (kg/ha de } \text{P}_2\text{O}_5) = (\text{Teor desejado de P} - \text{Teor atual de P}) \times \text{CTP}$$

Tabela 11. Níveis críticos de fósforo para 80% da produtividade potencial e valores da capacidade tampão de fósforo (CTP) do solo, com a finalidade de determinar a dose do fertilizante fosfatado na adubação corretiva de culturas anuais na região dos Cerrados, em função do teor de argila no solo, para os métodos Mehlich-1 e Resina.

Teor de argila (%)	Nível crítico de fósforo para 80% do rendimento potencial ⁽¹⁾		Capacidade tampão de fósforo CTP) ⁽²⁾	
	Mehlich-1	Resina	Mehlich-1	Resina
	mg/dm ³		kg/ha de P_2O_5 por unidade de P (mg/dm ³)	
10–15	20	15	5	6
16–20	18	15	6	7
21–25	17	15	7	8
26–30	15	15	9	9
31–35	14	15	11	10
36–40	13	15	15	12
41–45	11	15	18	13
46–50	10	15	23	14
51–55	8	15	29	15
56–60	7	15	37	16
61–65	5	15	54	17
66–70	4	15	70	19

⁽¹⁾ Para obtenção do nível crítico de fósforo para 90% do rendimento potencial, para culturas de maior valor agregado ou menor risco climático, como sistemas irrigados, multiplicar esses valores por 1,4.

⁽²⁾ Dose de P_2O_5 solúvel para elevar o teor de fósforo no solo em 1 mg/dm^3 , com base em amostras da camada de 0 cm a 20 cm.

Nas Tabelas 12 e 13 são apresentadas as doses de fósforo (kg/ha de P_2O_5) para adubação corretiva, recomendadas para a elevação da disponibilidade de P ao nível crítico de obtenção de 80% da produtividade potencial da cultura, em função do teor de argila e da capacidade tampão de P do solo.

Tabela 12. Doses recomendadas (kg/ha de P_2O_5) para correção do teor de P no solo (Mehlich-1) até o valor correspondente a 80% da produtividade potencial.

Teor de P (Mehlich-1) mg/dm ³	Teor de argila (%)											
	< 15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	> 70
	kg/ha de P_2O_5											
1	95	102	112	126	143	180	180	207	203	222	216	210
2	90	96	105	117	132	165	162	184	174	185	162	140
3	85	90	98	108	121	150	144	161	145	148	108	70
4	80	84	91	99	110	135	126	138	116	111	54	M
5	75	78	84	90	99	120	108	115	87	74	M	
6	70	72	77	81	88	105	90	92	58	37		
7	65	66	70	72	77	90	72	69	29	M		
8	60	60	63	63	66	75	54	46	M			
9	55	54	56	54	55	60	36	23				
10	50	48	49	45	44	45	18	M				
11	45	42	42	36	33	30	M					
12	40	36	35	27	22	15						
13	35	30	28	18	11	M						
14	30	24	21	9	M							
15	25	18	14	M								
16	20	12	7									
17	15	6	M									
18	10	M										
19	5											
20	M											

M: Doses de manutenção correspondentes a 15 kg P_2O_5 e 10 kg de P_2O_5 para cada tonelada de grãos esperada, respectivamente para solos com teores adequado ou alto de P no solo.

Dados calculados a partir da Tabela 11.

Tabela 13. Doses recomendadas (kg/ha de P_2O_5) para correção do teor de P no solo (Resina) até o valor correspondente a 80% da produtividade potencial. Dados calculados a partir da Tabela 11.

Teor de P (Resina)	Teor de argila (%)											
	< 15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	> 70
mg/dm ³	kg/ha de P_2O_5											
1	84	98	112	126	140	168	182	196	210	224	238	266
2	78	91	104	117	130	156	169	182	195	208	221	247
3	72	84	96	108	120	144	156	168	180	192	204	228
4	66	77	88	99	110	132	143	154	165	176	187	209
5	60	70	80	90	100	120	130	140	150	160	170	190
6	54	63	72	81	90	108	117	126	135	144	153	171
7	48	56	64	72	80	96	104	112	120	128	136	152
8	42	49	56	63	70	84	91	98	105	112	119	133
9	36	42	48	54	60	72	78	84	90	96	102	114
10	30	35	40	45	50	60	65	70	75	80	85	95
11	24	28	32	36	40	48	52	56	60	64	68	76
12	18	21	24	27	30	36	39	42	45	48	51	57
13	12	14	16	18	20	24	26	28	30	32	34	38
14	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	17	19
15	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M	M

M: Doses de manutenção correspondentes a 15 kg P_2O_5 e 10 kg de P_2O_5 , para cada tonelada de grãos esperada, respectivamente, para solos com teores adequado ou alto de P no solo.

Dados calculados a partir da Tabela 11.

Adubação corretiva gradual: pode ser utilizada quando não se tem capital para fazer a correção do solo de uma só vez, situação frequente para solos argilosos e muito argilosos, cujas doses requeridas de fertilizante são elevadas. Essa prática consiste em aplicar, no sulco de semeadura, a quantidade de P definida para a adubação corretiva, mas de modo parcelado, acrescentando à adubação anual de manutenção, uma parcela da adubação corretiva total até atingir, após alguns anos, a disponibilidade de P desejada. Sugere-se que a adubação corretiva gradual seja realizada num período máximo de cinco cultivos, após o qual, o solo apresentará os teores de P no nível adequado (Tabela 10).

Adubação de manutenção: a adubação de manutenção é recomendada quando a disponibilidade de P é adequada ou alta e as doses devem ser suficientes para a manutenção do potencial produtivo das áreas. Nesses casos, a recomendação de adubação de manutenção, em sistema plantio direto bem manejado e sem limitações químicas, físicas e biológicas, é aplicar doses correspondentes a 15 kg P_2O_5 e 10 kg de P_2O_5 , para cada tonelada de grãos esperada, respectivamente, para solos com teores de fósforo nas classe de disponibilidade adequado ou alto de P (Tabela 10). Para solos na classe de teor muito alto de P, pode-se deixar de realizar a adubação fosfatada por um ano ou mais, até o retorno para à classe alto.

b) Adubação potássica (Vilela et al., 2004)

Para solos da região dos Cerrados, adotam-se dois sistemas de correção da deficiência de potássio. A adubação corretiva total que consiste em aplicar doses de potássio para corrigir a deficiência, seguida de aplicações anuais para repor a exportação de potássio pelas culturas. A outra, é a adubação corretiva gradual que consiste em aplicar anualmente doses de potássio pouco acima da necessidade das culturas.

A recomendação de adubação é subdividida em duas classes de CTC: solos com CTC a pH 7,0 menor do que 4,0 $cmol_c/dm^3$ e solos com CTC a pH 7,0 maior ou igual a 4 $cmol_c/dm^3$ (Tabela 14). É importante lembrar que, em solos com CTC menor do que 4,0 $cmol_c/dm^3$, o potencial de perdas de K por lixiviação é grande. Nesse caso, recomenda-se o parcelamento para doses maiores de 40 kg/ha de K_2O ou sua aplicação a lanço. Doses de K acima de 100 kg/ha de K_2O , independente da CTC do solo, devem ser, preferencialmente, parceladas ou aplicadas a lanço.

Tabela 14. Interpretação da análise do solo e recomendação de adubação corretiva de K para culturas anuais conforme a disponibilidade do nutriente em solos dos Cerrados.

Teor de K		Interpretação	Corretiva Total	Corretiva gradual
mg/kg	cmol _c /dm ³		kg/ha de K ₂ O	
CTC a pH 7,0 < 4,0 cmol_c/dm³				
< 16	< 0,04	Baixo	50	70
16 a 30	0,04 a 0,08	Médio	25	60
31 a 40	0,08 a 0,10	Adequado ⁽¹⁾	0	0
> 40	> 0,10	Alto ⁽²⁾	0	0
CTC a pH 7,0 ≥ 4,0 cmol_c/dm³				
≤ 25	< 0,06	Baixo	100	80
26 a 50	0,06 a 0,13	Médio	50	60
51 a 80	0,13 a 0,20	Adequado ⁽¹⁾	0	0
> 80	> 0,20	Alto ⁽²⁾	0	0

⁽¹⁾ Para solos com teores de potássio dentro dessa classe, recomenda-se adubação de manutenção de acordo com a expectativa de produção.

⁽²⁾ Para solos com teores de potássio dentro dessa classe, recomenda-se 50% da adubação de manutenção ou da extração de potássio esperada ou estimada com base na última safra.

Se o teor de K for interpretado como adequado, para evitar o decréscimo de potássio no solo, recomenda-se aplicar anualmente adubação de manutenção para repor as quantidades de K exportadas pela cultura. Para solos com altos teores de potássio, até atingir teores adequados, eventualmente podem ser adotadas adubações de manutenção equivalentes a 50% da exportação de K.

Considera-se que a exportação de potássio para a soja na região dos Cerrados seja corresponde a 20 kg de K₂O para cada tonelada de grãos que se espera produzir. Considerando-se que não haja perdas por lixiviação e que os restos culturais sejam mantidos na área.

Estado de Mato Grosso

As indicações técnicas para o Estado de Mato Grosso foram compiladas do Boletim de Pesquisa - 2019/2020 (Zancanaro et al., 2019). As Tabelas 15 a 18 servem como referência para a interpretação das análises de solo e como sugestão de adubação, considerando os resultados de pesquisa do Programa de Monitoramento da Adubação (PMA), da Fundação MT.

Adubação fosfatada

O fósforo é o nutriente que mais limita a produtividade em solos da região dos Cerrados, quando incorporados à agricultura. Porém, há muitas áreas que vêm sendo cultivadas há vários anos e/ou receberam investimento elevado com adubação e que, atualmente, apresentam teores adequados ou altos de fósforo.

As diferenças quanto ao histórico de cultivo (histórico de investimentos e teor de fósforo no solo) determinam estratégias de adubação diferenciadas. O fósforo, de modo geral, também é o nutriente com maior custo dentro da adubação da cultura da soja, além de interferir significativamente na parte operacional.

As Tabelas 15 a 16 podem servir como referência para a interpretação dos resultados da análise do solo e também como sugestão de adubação.

Tabela 15. Interpretação de análises de solo para recomendação de adubação fosfatada (Mehlich-1), de amostras de solo coletadas na profundidade de 0 cm a 20 cm).

Teor de argila	Teor de P			
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado
%	mg/dm ³			
61 a 80	< 2,0	2,0 a 3,9	4,0 a 6,0	> 6,0
41 a 60	< 5,0	5,0 a 7,9	8,0 a 12,0	> 12,0
21 a 40	< 6,0	6,0 a 11,9	12,0 a 18,0	> 18,0
≤ 20	< 8,0	8,0 a 14,9	15,0 a 20,0	> 20,0

Nota: Ao interpretar os resultados de análises de solo em amostras coletadas em campo com histórico de adubação com fosfatos naturais, ou fertilizantes fosfatados com menor grau de solubilização, é importante considerar que o método de Mehlich-1, para análise de fósforo, tende a superestimar os teores disponíveis desse elemento no solo. Nesse caso, o método de análise recomendado é o método da resina.

Tabela 16. Recomendação de adubação fosfatada corretiva a lanço⁽¹⁾, de acordo com o teor de argila do solo.

Teor de Argila	Teor de P (mg/dm ³) - Mehlich-1	
	Muito baixo	Baixo
%	kg/ha de P ₂ O ₅ ⁽²⁾	
61 a 80	300	200
41 a 60	250	175
21 a 40	200	135
≤ 20	150	100

⁽¹⁾ A adubação corretiva de fósforo deve ser avaliada pela quantidade de fósforo, em função do teor de argila, do valor comercial da soja e pelo retorno esperado com as maiores produtividades que possam ser alcançadas nos primeiros quatro anos;

⁽²⁾ As quantidades de fósforo sugeridas se referem ao fósforo solúvel (CNA + Água).

Na Tabela 17, as quantidades sugeridas de fósforo se referem a uma expectativa de produtividade de 60 sc/ha (3.600 kg/ha) para áreas com vários anos de cultivo e de 55 sc/ha (3.300 kg/ha) para áreas novas. A obtenção de produtividades maiores também é dependente da uniformidade da lavoura já que, de modo geral, as áreas novas apresentam maior desuniformidade.

Tabela 17. Recomendação de adubação fosfatada de manutenção aplicada no sulco de semeadura⁽¹⁾ e de acordo com a disponibilidade de fósforo em solos com vegetação de Cerrados, para Mato Grosso.

Teor de Argila	Teor de P (mg/dm ³) – Mehlich-1			
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado
%	kg/ha de P ₂ O ₅ ⁽¹⁾			
61 a 80	≥ 120 ⁽²⁾	110	90	60 ⁽³⁾
41 a 60	≥ 120	100	80	60
21 a 40	120	100	80	60
≤ 20	120	90	80	60

⁽¹⁾As quantidades de fósforo sugeridas se referem ao fósforo solúvel (CNA + Água) e podem variar em função do nível de produtividade desejada, nível de investimento e preço esperado para a soja.

⁽²⁾O PMA tem encontrado respostas positivas e lineares ao fósforo aplicado na linha de semeadura até a maior quantidade de fósforo aplicada (132 kg/ha de P₂O₅), quando a soja é semeada em condições em que o teor de fósforo no solo é muito baixo. Portanto, se o fósforo no solo estiver classificado como baixo ou muito baixo e se houver possibilidade de realizar maior investimento em fósforo e/ou os preços da soja forem promissores, poderão ser utilizadas quantidades maiores do que as sugeridas na Tabela.

⁽³⁾As quantidades recomendadas quando o nível de fósforo for interpretado como adequado equivalem à estratégia de manutenção para as produtividades citadas acima. Para produtividades maiores que as citadas acima, a quantidade recomendada de fósforo para a estratégia de adubação e de reposição é proporcional à produtividade obtida ou desejada.

A decisão de adubação no sulco de semeadura ou a lanço depende do diagnóstico da área, dos objetivos da empresa e do manejo operacional. Contudo, uma estratégia é fazer uma alternância durante os anos ou safras, quanto a modalidade de aplicação do fertilizante fosfatado.

Adubação potássica

Na Tabela 18 encontra-se a interpretação dos resultados das análises de solo e a sugestão de recomendação de adubação potássica para a cultura da soja, considerando os resultados de pesquisa do PMA, da Fundação MT.

Tabela 18. Interpretação dos níveis de potássio no solo e recomendação de adubação (kg/ha de K_2O) para a produtividade esperada de 3600 kg/ha (60 sc/ha).

Níveis	Teor de K^+ no solo		Dose de K
	mg/dm ³	cmol _c /dm ³	kg/ha de K_2O
Bom	> 60	> 0,15	72 a 80 ⁽¹⁾
Médio	40 a 60	0,10 a 0,15	80 a 100
Baixo	20 a 40	0,05 a 0,10	100 a 120
Muito Baixo	< 20	< 0,05	120 a 140

⁽¹⁾ As quantidades recomendadas equivalem à reposição da extração esperada (20 kg/ha a 23 kg/ha de K_2O para cada 1.000 kg de grãos).

Os resultados da Fundação MT têm demonstrado que, em solos de textura muito arenosa, não há resposta às adubações maiores do que 100 kg/ha a 120 kg/ha de K_2O , após oito anos de adubação, tanto na produtividade, quanto nos teores de potássio no solo. Ou seja, em solos arenosos, dificilmente, o produtor deverá (ou poderá) trabalhar com quantidades de potássio baixas (menores do que as quantidades exportadas) e nem com adubações muito elevadas (120 kg/ha a 140 kg/ha). Nesse caso, mais do que investir em quantidades maiores de potássio, é importante investir no parcelamento de sua aplicação e, acima de tudo, em culturas com elevada capacidade de reciclagem do nutriente, como o milho ou a braquiária, por exemplo.

Deve-se evitar a aplicação de quantidades acima de 40 kg/ha a 50 kg/ha de K_2O no sulco de semeadura. Em solos com menos de 40% de argila,

a adubação de potássio deve ser feita com um terço da dose no sulco de semeadura e com dois terços em cobertura, a qual deverá ser feita 30 a 40 dias após a emergência das plantas, para cultivares de ciclo precoce ou tardio. Na aplicação a lanço deve-se ter cuidado especial na uniformidade de aplicação, em função do equipamento e, principalmente, no alcance da aplicação.

Estado de Minas Gerais

Na Tabela 19 são apresentadas as classes de interpretação da disponibilidade para fósforo, de acordo com o teor de argila do solo ou com o valor de P-remanescente e, ainda, para potássio.

Tabela 19. Classes de interpretação da disponibilidade para fósforo, de acordo com o teor de argila do solo ou do valor de fósforo remanescente (P-rem) e para potássio.

Classe	Classificação				
	Muito baixo	Baixo	Médio ⁽³⁾	Bom	Muito bom
Argila (%)	Fósforo disponível⁽¹⁾ (mg/dm³)				
> 60	≤ 2,7	2,8 - 5,4	5,5 - 8,0	8,1 - 12,0	> 12,0
35 a 60	≤ 4,0	4,1 - 8,0	8,1 - 12,0	12,1 - 18,0	> 18,0
15 a 35	≤ 6,6	6,7 - 12,0	12,1 - 20,0	20,1 - 30,0	> 30,0
< 15	≤ 10,0	10,1 - 20,0	20,1 - 30,0	30,1 - 45,0	> 45,0
P-rem⁽²⁾ (mg/L)					
0 - 4	≤ 3,0	3,1 - 4,3	4,4 - 6,0	6,1 - 9,0	> 9,0
4 - 10	≤ 4,0	4,1 - 6,0	6,1 - 8,3	8,4 - 12,5	> 12,5
10 - 19	≤ 6,0	6,1 - 8,3	8,4 - 11,4	11,5 - 17,5	> 17,5
19 - 30	≤ 8,0	8,1 - 11,4	11,5 - 15,8	15,9 - 24,0	> 24,0
30 - 44	≤ 11,0	11,1 - 15,8	15,9 - 21,8	21,9 - 33,0	> 33,0
44 - 60	≤ 15,0	15,1 - 21,8	21,9 - 30,0	30,1 - 45,0	> 45,0
	Potássio disponível (K)⁽¹⁾				
cmol _c /dm ³	< 0,04	0,04 a 0,10	0,11 a 0,18	0,18 a 0,31	> 0,31
mg/dm ³	≤ 15	16 a 40	41 a 70	71 a 120	> 120

⁽¹⁾Método Mehlich-1.

⁽²⁾P-rem = fósforo remanescente, concentração de fósforo da solução de equilíbrio após agitar durante 1 h a TFSA com solução de CaCl₂ 10 mmol/L, contendo 60 mg/L de P, na relação 1:10.

⁽³⁾O limite superior dessa classe indica o nível crítico.

Fonte: Alvarez V. et al. (1999).

Na Tabela 20 são indicadas as doses de fósforo e de potássio recomendadas de acordo com as classes de interpretação da disponibilidade desses nutrientes no solo, conforme Tabela 19.

Tabela 20. Adubação com P e K para produtividade de 3.000 kg de grãos.

Disponibilidade de P			Disponibilidade de K		
Baixo	Médio	Bom	Baixo	Médio	Bom
kg/ha de P ₂ O ₅			kg/ha de K ₂ O ⁽¹⁾		
120	80	40	120	80	40

⁽¹⁾ Não aplicar no sulco, em uma única vez, quantidade superior a 50 kg/ha.

Fonte: Novais (1999).

Estado de São Paulo (em fase de elaboração, ver rodapé abaixo)¹.

a) Adubação com fósforo e potássio.

Na Tabela 21 constam as doses de fósforo e de potássio a serem aplicadas no solo, que variam em função dos teores de P e K no solo e a produtividade esperada.

Tabela 21. Adubação mineral de semeadura para o estado de São Paulo.

Produtividade esperada	P resina, mg/dm ³			K ⁺ trocável, mmol _c /dm ³		
	0–15	16–40	>40	0–1,5	1,6–3,0	>3,0
kg/ha	P ₂ O ₅ (kg/ha)			K ₂ O (kg/ha)		
2000–3000	100	80	30	100	60	40
3000–4000	120	100	60	120	80	60
> 4000 ⁽¹⁾	*	120	60	120	100	80

⁽¹⁾ Não é possível obter essas produtividades com aplicação localizada de fósforo em solos com teores baixos de P.

Em solos com até 6,0 mg/dm³ de P em Resina é recomendável fazer fosfatagem com 100 kg/ha de P₂O₅ incorporado ao solo, em adição às doses recomendadas na Tabela 21.

Em solos com teores acima de 80 mg/dm³ de P (resina) e 6,0 mmol_c/dm³ de K, não são necessárias adubações com os respectivos nutrientes. No

¹ RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 3. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 2021. (IAC. Boletim Técnico, 100). Em fase de elaboração.

caso do fósforo, poderia se optar por doses de 30 kg/ha a 40 kg/ha de P_2O_5 no sulco de semeadura para atuar como “starter” e acelerar o processo de estabelecimento no campo.

Deve-se evitar dose de K_2O acima de 50 kg/ha para não causar danos por salinidade às sementes. Doses maiores devem ser aplicadas preferencialmente à lanço, antes da semeadura da soja, ou aplicar metade da dose na semeadura e o restante em cobertura 20 a 25 dias após a germinação, principalmente em solos arenosos. No sistema de produção de soja de verão e milho safrinha, a dose de potássio aplicada à lanço antes da semeadura poderá ser aumentada para atender a demanda das duas culturas.

Em solos com $S-SO_4^{2-}$ abaixo de 15 mg/dm^3 na camada 20 cm–40 cm, aplicar 15 kg/ha de enxofre solúvel em água para cada tonelada de produção de soja esperada.

Estado do Paraná

As doses de fósforo e de potássio variam em função das classes de teores dos nutrientes nos solos (Tabela 22 e 23).

A adubação com fósforo e potássio deve ser feita preferencialmente no sulco de semeadura. Especificamente para adubação potássica, em solos com teor de argila maior que 35% e adequada disponibilidade de K, a aplicação pode ser feita a lanço, até 30 dias antes da semeadura. No sulco de semeadura, a quantidade de fertilizante deve ser limitada a doses inferiores a 60 kg/ha de K_2O , por causa dos possíveis danos por efeito salino às sementes, principalmente em solos de textura mais arenosa. Nesse caso, a adubação complementar de potássio poderá ser realizada a lanço em cobertura, até o estágio vegetativo V4/V5.

Tendo em vista a maior exportação de potássio e de fósforo pelos grãos de soja (Resende et al., 2019), o manejo da adubação das culturas que compõem os sistemas de produção deve ser definido em função do balanço de entradas (adubação) e saídas de nutrientes (exportação pelos grãos), principalmente para o potássio, com o objetivo de manter o equilíbrio nutricional do sistema.

Tabela 22. Indicação de adubação com fósforo para a soja no estado do Paraná.

CTC cmol _c /dm ³	Classes de Interpretação da Análise de Solo	Teor de P (Mehlich-1)	Dose Recomendada
		mg/dm ³	kg/ha de P ₂ O ₅
CTC < 5	Muito Baixo	< 6,0	120
	Baixo	6,0–14,0	90
	Médio ⁽¹⁾	14,1– <u>20,0</u>	60
	Alto ^{(2),(4)}	20,1–35,0	50 ou (M)
	Muito Alto ^{(3),(4)}	> 35,0	40 ou (R)
CTC ≥ 5	Muito Baixo	< 3,0	160
	Baixo	3,0–6,0	120
	Médio ⁽¹⁾	6,1– <u>9,0</u>	80
	Alto ^{(2),(4)}	9,1–15,0	60 ou (M)
	Muito Alto ^{(3),(4)}	> 15,0	50 ou (R)

⁽¹⁾ O limite superior dessa classe indica o nível crítico.

⁽²⁾ Para áreas com teor Alto, recomenda-se a aplicação da dose para manutenção (M), considerando 75% de eficiência, calculada com base na reposição de P para produtividade de 3,5 t/ha para solos com CTC < 5 cmol_c/dm³ e de 4 t/ha para solos com CTC ≥ 5 cmol_c/dm³. Para produtividades esperadas superiores, a dose recomendada pode ser ajustada em função de cálculos de balanço da adubação, considerando fator de eficiência de 75% e a quantidade de nutriente exportada (11 kg P₂O₅/t de grãos).

⁽³⁾ Para áreas com teor Muito Alto, recomenda-se a aplicação da dose de reposição (R), calculada com base na dose necessária para reposição de P considerando a produtividade de 3,5 t/ha para solos com CTC < 5 cmol_c/dm³ e de 4,5 t/ha para solos com CTC ≥ 5 cmol_c/dm³. Para produtividades esperadas superiores, a dose recomendada pode ser ajustada em função de cálculos de balanço da adubação, considerando fator de eficiência de 100% e a quantidade de nutriente exportada (11 kg P₂O₅/t de grãos). Nessa classe, a dose pode ser reduzida em qualquer proporção, inclusive a zero (supressão da adubação com P) sem causar variação na produtividade em função da nutrição com fósforo.

⁽⁴⁾ As práticas relacionadas à adubação de sistemas de produção podem ser aplicadas em áreas com teores de P interpretados nas classes alto e muito alto.

Tabela 23. Indicação de adubação com potássio para a soja no estado do Paraná.

CTC cmol _c /dm ³	Classes de Interpretação da Análise de Solo	Teor de K (Mehlich-1)		Dose Recomendada
		cmol _c /dm ³	mg/dm ³	kg/ha de K ₂ O
CTC < 5	Muito Baixo	< 0,04	< 16	100
	Baixo	0,04–0,08	16–32	90
	Médio ⁽¹⁾	0,09– <u>0,12</u>	33–49	80
	Alto ^{(2),(4)}	0,13–0,20	50–80	70 ou (M)
	Muito Alto ^{(3),(4)}	> 0,20	> 80	60 ou (R)
CTC ≥ 5	Muito Baixo	< 0,05	< 20	200
	Baixo	0,05–0,10	20–40	150
	Médio ⁽¹⁾	0,11– <u>0,20</u>	41–80	100
	Alto ^{(2),(4)}	0,21–0,30	81–120	90 ou (M)
	Muito Alto ^{(3),(4)}	> 0,30	> 120	80 ou (R)

⁽¹⁾ O limite superior dessa classe indica o nível crítico.

⁽²⁾ Para a classe de teor alto, recomenda-se a aplicação da dose para manutenção (M), considerando 90% de eficiência, calculada com base na reposição de K para produtividade de 3,0 t/ha para solos com CTC < 5 cmol_c/dm³ e de 3,5 t/ha para solos com CTC ≥ 5 cmol_c/dm³. Para produtividades esperadas superiores, a dose recomendada pode ser ajustada em função de cálculos de balanço da adubação, considerando fator de eficiência de 90% e a quantidade de nutriente exportada (22 kg K₂O/t de grãos).

⁽³⁾ Para a classe de teor muito alto, recomenda-se a aplicação da dose de reposição (R), calculada com base na reposição de K para uma produtividade de 3,0 t/ha para solos com CTC < 5 cmol_c/dm³ e de 3,5 t/ha para solos com CTC ≥ 5 cmol_c/dm³. Para produtividades esperadas superiores, a dose recomendada pode ser ajustada em função de cálculos de balanço da adubação, considerando fator de eficiência de 100% a quantidade de nutriente exportada (22 kg K₂O/t de grãos). Nessa classe, a dose pode ser reduzida em qualquer proporção, inclusive a zero (supressão da adubação com K) sem causar variação na produtividade em função da nutrição com K.

⁽⁴⁾ As práticas relacionadas à adubação de sistemas de produção podem ser aplicadas em áreas com teores de K interpretados nas classes alto e muito alto.

Épocas e modo de aplicação

A tomada de decisão quanto a forma de aplicação de adubação com fósforo e/ou potássio, no sulco de semeadura ou a lanço em superfície, é dependente de diversas variáveis. Não obstante as questões agrônômicas serem as principais, frequentemente a logística, associada à

necessidade de maior agilidade nas operações de manejo, determinam o modo de aplicação, principalmente em grandes áreas.

O fósforo é um nutriente com baixa mobilidade e concentra-se nas camadas superficiais do solo (Bataglia et al., 2009; Zancanaro et al., 2019; Oliveira Junior et al., 2019), com decréscimo abrupto ao longo do perfil. Apesar do principal processo de contato desse nutriente com as raízes ser a difusão, indicando que a melhor forma de aplicação do fertilizante seja próximo às raízes (sulco de semeadura), em algumas situações, principalmente, com alta disponibilidade de fósforo e baixo risco de déficit hídrico, é possível fazer a aplicação a lanço, na superfície do solo e essa aplicação apresentar eficiência agrônômica compatível com a aplicação no sulco (Oliveira Junior et al., 2019). Entretanto, a longevidade dessa prática depende do monitoramento do teor de fósforo (fertilidade do solo) nas camadas de 0 cm a 10 cm e 10 cm a 20 cm de profundidade.

O potássio disponível está presente na fração trocável do solo e apresenta maior mobilidade que o fósforo. Os processos de fluxo de massa e difusão determinam o contato do íon com as raízes, possibilitando maior flexibilidade quanto a época e o modo de aplicação, facilitando a logística e o manejo da adubação. Regra geral, o potássio pode ser aplicado de forma localizada no sulco de semeadura, respeitando os limites máximos indicados em cada região. Alternativamente, nos solos com fertilidade construída, é possível fazer a aplicação de potássio antecipadamente à semeadura ou em cobertura até o estágio V4/V5 de desenvolvimento da soja.

Os níveis críticos de fósforo e potássio no solo e as faixas de suficiência para alcançar altas produtividades oferecem um conjunto de informações importantes para a definição da quantidade de fertilizantes, possibilitando inferir que, para sistemas de produção com teor de fósforo e potássio, acima dos teores considerados altos, é possível suprimir a adubação. Outra possibilidade, é a antecipação da adubação da soja, na cultura de inverno (Foloni et al., 2018). Para essa supressão, é fundamental o monitoramento criterioso da fertilidade do solo, num intervalo máximo de 2 safras, para que os teores de nutrientes não fiquem abaixo

do nível crítico. Além da análise de solo, avaliar o balanço de entrada e saída de nutrientes, as produtividades das culturas que compõem o sistema de produção e mesmo, a análise de folhas.

Fontes

Para o potássio, a principal fonte e a de maior viabilidade econômica é o cloreto de potássio, entretanto, fontes multinutrientes têm sido disponibilizadas aos produtores. Nesse caso, a recomendação da quantidade a ser aplicada deve ser realizada a partir do teor de K solúvel em água e/ou em ácido cítrico.

No caso do fósforo, alguns fabricantes têm indicado redução de doses das formulações alegando maior eficiência em comparação com as fontes minerais. Esse posicionamento tem sido muito comum para os fertilizantes organominerais. Nesse sentido, reforçamos que as fontes minerais/organominerais, quando aplicadas em condições de manutenção e reposição, apresentam eficiência agrônômica de, no mínimo, 75% (calculada a partir da relação entre P aplicado e P exportado). Portanto, a recomendação de ambas as fontes deve ser realizada com base no respectivo teor de P_2O_5 solúvel em CNA (Citrato Neutro de Amônio) + Água.

Enxofre

Para melhor avaliar a distribuição de enxofre (S) no solo e a necessidade do nutriente, deve-se fazer a análise de solo em duas profundidades, 0 cm a 20 cm e 20 cm a 40 cm, por causa da mobilidade do nutriente no solo e do seu acúmulo na segunda camada.

A Tabela 24 apresenta as quantidades recomendadas, de acordo com a classe de teores no solo. Os níveis críticos são 3 mg/dm^3 e 9 mg/dm^3 para solos com $CTC \leq 5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$ e 10 mg/dm^3 e 35 mg/dm^3 para solos com $CTC > 5 \text{ cmol}_c/\text{dm}^3$, respectivamente nas profundidades 0 cm a 20 cm e 20 cm a 40 cm.

Considerando a exportação do nutriente, que é em torno de 2,8 kg de S por tonelada de grãos (Tabela 6), a adubação de manutenção deve considerar a reposição total das perdas estimadas em função da produtividade esperada.

No mercado, encontram-se algumas fontes de enxofre como: gesso agrícola (15% de S), superfosfato simples (12% de S), enxofre elementar (98% de S), entre outras. A Tabela 25 apresenta várias fórmulas N-P-K contendo S. Além disso, mais recentemente, foram disponibilizados no mercado fertilizantes a base de MAP contendo enxofre na composição, possibilitando realizar a adubação de manutenção com S, utilizando fertilizantes fosfatados de alta concentração.

Tabela 24. Indicação de adubação de correção e de manutenção com enxofre (S), conforme as faixas de teores de S no solo (mg/dm^3), em duas profundidades, para a cultura da soja no Brasil.

Faixas para Interpretação		Teor de S no solo ⁽¹⁾				Quantidade de enxofre (S) a aplicar
		CTC < 5 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$		CTC \geq 5 $\text{cmol}_c/\text{dm}^3$		
		Profundidade (cm)				
0 a 20	20 a 40	0 a 20	20 a 40	0 a 20	20 a 40	
		mg/dm^3				kg/ha
Baixo	Baixo	< 2	< 6	< 5	< 20	30 + M ⁽²⁾
	Médio	< 2	6 a 9	< 5	20 a 35	20 + M
	Alto	< 2	> 9	< 5	> 35	10 + M
Médio	Baixo	2 a 3	< 6	5 a 10	< 20	20 + M
	Médio	2 a 3	6 a 9	5 a 10	20 a 35	10 + M
	Alto	2 a 3	> 9	5 a 10	> 35	M
Alto	Baixo	> 3	< 6	> 10	< 20	10 + M
	Médio	> 3	6 a 9	> 10	20 a 35	M
	Alto	> 3	> 9	> 10	> 35	M

⁽¹⁾Métodos: Extração- $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 0,01 M; Determinação-Turbidimetria.

⁽²⁾M = Manutenção: 3 kg/ha de S-SO_4^{2-} para cada 1.000 kg/ha de produtividade de grãos esperada.

Fonte: Modificado de Sfredo et al. (2003).

Na Tabela 25 são apresentadas a composição de algumas formulações de adubos encontradas no mercado, com as respectivas quantidades de fosfato monoamônio (MAP), superfosfato triplo (TSP), superfosfato simples (SSP), fosfato reativo (FR), cloreto de potássio (KCl), enxofre elementar (S^0), sulfato de amônio (SA) e as respectivas concentrações/garantias de S e cálcio (Ca). Conforme pode ser observado, algumas formulações contém quantidades relevantes de macronutrientes secun-

dários que em determinadas situações de fertilidade do solo, podem atender às necessidades complementares das culturas.

Outras formulações podem ser encontradas no mercado devendo-se atentar para que as quantidades dos nutrientes aplicadas atendam as diferentes necessidades das culturas e de fertilidade dos solos.

Tabela 25. Composição de algumas formulações de fertilizantes para a cultura da soja, com as respectivas quantidades de fosfato monoamônio (MAP), superfosfato triplo (TSP), superfosfato simples (SSP), fosfato reativo (FR), cloreto de potássio (KCl), enxofre elementar (S⁰), sulfato de amônio (Sulf. Am.) e as respectivas concentrações/garantias de enxofre (S) e cálcio (Ca).

Fórmula N-P ₂ O ₅ -K ₂ O	Composição							Garantias	
	MAP	TSP	SSP	FR	KCl	S ⁰	SA	S	Ca
	kg/t							%	
00-20-20	----	265	401	----	334	----	----	4,0	10,0
00-20-25	----	326	257	----	417	----	----	2,5	9,0
00-20-10	----	142	691	----	167	----	----	7,0	14,0
00-10-30	----	9	491	----	500	----	----	5,0	9,0
00-30-10	----	519	314	----	167	----	----	3,0	12,0
00-20-30	----	387	113	----	500	----	----	1,2	6,8
00-25-25	----	515	68	----	417	----	----	0,7	7,4
00-25-20	----	454	212	----	334	----	----	2,3	9,5
00-18-18	----	164	536	----	300	----	----	6,0	12,0
00-30-15	----	580	170	----	250	----	----	1,7	10,0
02-20-20	182	42	442	----	334	----	----	4,0	9,0
02-20-10	133	0	673	----	167	----	----	7,0	12,0
02-28-20	182	344	140	----	334	----	----	1,5	6,8
02-20-18	118	0	137	355	300	57	33	8,0	15,5
02-28-18	182	305	0	141	300	72	0	7,1	9,2
02-24-20	182	250	0	96	400	72	0	7,1	6,9

Outras formulações podem ser utilizadas desde que atendam as quantidades dos nutrientes indicados para as diferentes situações de fertilidade dos solos.

a) Adubação com enxofre no Cerrado

Para Rein e Souza (2004), caso não tenha sido feita a gessagem na área e o solo seja deficiente em enxofre (Tabela 26), a cada cultivo devem ser aplicados 20 kg/ha de S para produtividade de até 3 t/ha e 30 kg/ha de S para produtividades entre 3 t/ha a 5 t/ha. Quando a disponibilidade de S for média, recomenda-se 15 kg/ha de S e, em áreas com disponibilidade alta de enxofre, não é necessária aplicação do nutriente, exceto, quando o teor de S na camada de 0 cm a 20 cm de profundidade, for ≤ 4 mg/dm³. Nesse caso, recomenda-se aplicar 5 kg/ha de S, na forma de sulfato, na linha de semeadura.

Os resultados de pesquisa da Fundação MT demonstram que não há resposta na utilização de quantidades de enxofre maiores de 30 kg/ha por safra, mesmo em áreas com teores baixos de enxofre no solo, sem que haja diferenças entre as fontes de gesso, superfosfato simples e/ou enxofre elementar em pó.

Tabela 26. Interpretação da análise de enxofre (S) em solos da região dos Cerrados, considerando-se teor médio na camada de 0 cm a 40 cm de profundidade.

S no solo (Teor médio na camada de 0 cm a 40 cm) ⁽¹⁾ mg/dm ³	Disponibilidade de S
≤ 4	Baixa
5 a 9	Média
≥ 10	Alta

⁽¹⁾[(teor de enxofre na camada de 0 a 20 cm + teor de enxofre na camada de 20 a 40 cm)/2]; S extraído com Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 M em água (relação solo: solução extratora de 1:2,5).

Fonte: Rein e Souza (2004).

A frequência de resposta da cultura da soja à aplicação de enxofre está aumentando. Esse fato provavelmente está associado ao manejo do solo, que favorece a degradação da matéria orgânica com maior tempo de cultivo e também à escolha contínua de fertilizantes fosfatados concentrados em fósforo, mas que não possuem enxofre em sua composição.

Micronutrientes

Boro, cobre, manganês, zinco e ferro

As classes de disponibilidade de micronutrientes no solo, em função dos extratores Mehlich-1, DTPA e água quente, para a cultura da soja, são apresentadas para os solos do Paraná (Tabela 27), dos Cerrados (Tabela 28) e de São Paulo (Tabela 29).

A diagnose foliar (Tabelas 7, 8 e 9) deve ser utilizada como ferramenta complementar para avaliação da disponibilidade de micronutrientes no solo, conferindo maior precisão ao diagnóstico, independente da presença de sintomas visíveis. Dessa forma, constitui-se em instrumento efetivo para a indicação da correção de algum desequilíbrio nutricional via adubação.

Tabela 27. Limites de interpretação dos teores de micronutrientes no solo no Paraná.

Faixas	Métodos			
	Água quente	Mehlich-1		
	B ⁽¹⁾	Cu ⁽²⁾	Mn ⁽³⁾	Zn ⁽¹⁾
	mg/dm ³			
Baixo	< 0,30	< 0,80	< 15	< 1,1
Médio	0,30 - 0,50	0,80 - 1,70	15 - 30	1,1 - 1,6
Alto	> 0,50	> 1,70	> 30	> 1,6

Fonte: ⁽¹⁾Modificado de Galvão (2004) ; ⁽²⁾Modificado de Borkert et al. (2006); ⁽³⁾Modificado de Sfredo et al. (2006).

Tabela 28. Limites para a interpretação dos teores de micronutrientes no solo, extraídos por dois métodos de análise, para culturas anuais, nos solos do Cerrado.

Faixas	Métodos			
	Água quente	Mehlich-1		
	B	Cu	Mn	Zn
	mg/dm ³			
Baixo	< 0,30	< 0,5	< 2,0	< 1,1
Médio	0,30 - 0,50	0,5 - 0,8	2,0 - 5,0	1,1 - 1,6
Alto	> 0,50	> 0,8	> 5,0	> 1,6

Fonte: Modificado de Galvão (2004).

Tabela 29. Limites para a interpretação dos teores de micronutrientes no solo, extraídos por DTPA, no estado de São Paulo.

Faixas	Métodos				
	Água quente	DTPA			
	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg/dm ³				
Baixo	< 0,21	< 0,3	< 5	< 1,3	< 0,6
Médio	0,21-0,60	0,3-0,8	5-12	1,3-5,0	0,6-1,2
Alto	> 0,60	> 0,8	> 12	> 5,0	> 1,2

Fonte: Modificado de Rajj et al. (1996).

Na Tabela 30 são apresentadas as indicações de doses de micronutrientes e formas de aplicação no solo, para correção da deficiência nutricional.

Tabela 30. Indicação da aplicação de doses de micronutrientes no solo, para a cultura da soja.

Teor	B	Cu	Mn	Zn
	kg/ha			
Baixo ⁽¹⁾	2,0	2,0	6,0	6,0
Médio ⁽²⁾	0,5	0,5	1,5	1,5
Alto	0,0	0,0	0,0	0,0

⁽¹⁾Aplicação a lanço em dose única ou dividida em três partes iguais, no sulco de semeadura, em três cultivos sucessivos. ⁽²⁾Aplicação a lanço.

Fonte: Galvão (2004).

A limitação por boro pode afetar a produtividade das culturas. No entanto, não é comum o aparecimento de sintomas de deficiência do nutriente, apesar dos baixos teores de boro disponíveis nos solos brasileiros. Os problemas de deficiência de boro são mais frequentes em solos mais arenosos e com baixos teores de matéria orgânica. Além disso, as condições de deficit hídrico podem acentuar a deficiência do nutriente, mesmo em solos com teores adequados do nutriente, uma vez que a movimentação do boro até as raízes e, portanto, a quantidade de boro com possibilidade de ser absorvida, depende do volume de solo explorado pelas raízes e da quantidade de água absorvida pelas plantas.

A partir do diagnóstico da deficiência de boro, pela análise do solo (Tabelas 27 a 29) ou de tecidos vegetais (Tabelas 7 a 9), deve-se realizar uma adubação corretiva, podendo-se utilizar fontes exclusivas do nutriente ou formulações de fertilizantes contendo boro. Contudo, na maioria dos casos, as formulações disponíveis no mercado não apresentam a concentração de B suficiente para a correção da deficiência em uma única aplicação.

Além das recomendações de correção da deficiência de boro contidas na Tabela 30, outra possibilidade é a aplicação simultânea do boro dissolvido na calda de herbicidas dessecantes (Brighenti, et. al. 2006; Castro e Brighenti, 2007). Nessa tecnologia que combina dois objetivos em uma única operação de pulverização, a aplicação de boro em área total é realizada de forma uniforme, sem interferir na eficiência do controle de plantas daninhas pelo glifosato, seja na dessecação em pré-semeadura e/ou em pós-emergência (em cultivares de soja com tecnologia RR/Intacta).

Produtos como o glifosato e o glifosato potássico podem ser aplicados associados com ácido bórico (H_3BO_3) que contém 17% de B ou com o octaborato dissódico ($Na_2B_8O_{13} \cdot 4H_2O$), com 20,5% de B. Na mistura, as fontes fertilizantes possuem apenas a função de fornecer boro às plantas e, em alguns casos, corrigir a deficiência do nutriente no solo ao longo do tempo.

Tendo em vista a pequena necessidade de B para a soja, ao redor de 82 g/t de grãos (Tabela 6), esta tecnologia possibilita a aplicação das quantidades de boro que atendem as necessidades das plantas. No entanto, deve-se observar a solubilidade das fontes de boro, propriedade que determina as doses máximas a serem aplicadas em função do volume da calda. A solubilidade do ácido bórico em água é 63,5 g/L (Weast; Astle, 1982; Schubert, 2011) e a do octaborato é de 220 g/L (Lopes, 1999), ambas tomadas a 30 °C. A solubilidade do ácido bórico determinada a 25 °C é 55,2 g/L (Castro; Brighenti, 2007), e Scherer et al. (2011) citam que a solubilidade do octaborato em água é de 95,0 g/L.

Em função das diferentes condições de aplicação da mistura, mesmo que a solubilidade do ácido bórico seja maior, deve-se, preferencialmente, aplicar até 4,0 kg/100 L de calda (Castro; Brighenti, 2007), a fim de evitar problemas de solubilização. Com o uso do octaborato, podem ser aplicadas quantidades maiores de B, com baixa probabilidade de problemas de solubilização do produto. No entanto, doses elevadas de alguns produtos contendo octaborato podem elevar o pH da calda, e reduzir a velocidade de controle das plantas daninhas. Na

aplicação em pós-emergência, a dose de boro não deve ultrapassar 400 g de B/ha (Brighenti; Castro, 2008).

Na Tabela 31 são indicadas as doses de ácido bórico e de octaborato de sódio em função das doses de boro (B) e dos volumes de calda de diluição. Entretanto, para a aplicação conjunta de boro e herbicidas, o volume de calda normalmente utilizado, varia de 80 L/ha a 100 L/ha de calda.

Tabela 31. Quantidade de ácido bórico e de octaborato de sódio em função da dose de boro (B) a ser aplicada e do volume de calda de aplicação¹.

Dose de boro (g de B/ha)	Dose de ácido bórico (kg/ha)	Volume de calda (L/ha) ⁽²⁾	Dose de octaborato de sódio (kg/ha)	Volume de calda (L/ha) ⁽²⁾
100	0,59	60	0,49	> 40
150	0,88		0,73	
200	1,18		0,98	
250	1,47		1,22	
300	1,77		1,46	
350	2,06		1,71	
400	2,35		1,95	
450	2,65	80	2,20	
500	2,94		2,44	
550	3,24		2,68	
600	3,53	100	2,93	
650	3,82		3,17	
700	4,12	120	3,42	
750	4,41		3,66	
800	4,71		3,90	

⁽¹⁾ O volume de calda indica as quantidades máximas de boro diluídas com segurança, em função da solubilidade, e não necessariamente a indicação de volume de calda de dessecação.

⁽²⁾ Dentro de cada grupo, o volume de calda pode ser reduzido para as menores doses de boro. Ver fórmulas abaixo.

Alternativamente pode-se determinar com maior precisão o volume mínimo de calda a ser aplicada, em função da dose de boro (B), ou da fonte fertilizante (ácido bórico ou octaborato de sódio) desejada, conforme as fórmulas abaixo (Tabela 32).

Tabela 32. Cálculo do volume de calda para diluição de ácido bórico ou de octaborato dissódico.

	Ácido bórico	Octaborato
Volume de calda (L)	$\text{Dose de B (g)} \times 0,15$	$\text{Dose de B (g)} \times 0,05$
	$\text{Dose de ácido bórico (kg)} \times 25$	$\text{Dose de octaborato (kg)} \times 11$

Apesar de ser recomendada a correção da deficiência de boro no solo, estudos conduzidos com a aplicação do nutriente via solo e via foliar em soja (Castro et al., 2004) e via solo, em vários anos e locais (Oliveira Junior et al., 2018), não resultaram em respostas significativas à adubação em diferentes culturas de grãos.

Cobalto e molibdênio

O cobalto e o molibdênio são nutrientes essenciais para o processo de fixação biológica do nitrogênio. Em função do efeito do pH do solo na disponibilidade dos nutrientes no solo (Figura 1), as maiores possibilidades de resposta ao molibdênio ocorrem em solos ácidos, ao passo que a disponibilidade de cobalto diminui em solos excessivamente corrigidos.

A disponibilidade destes nutrientes no solo não é, rotineiramente, determinada nas análises químicas de solo e de plantas. Assim, por segurança, a cada ciclo de cultivo, recomenda-se a aplicação mínima das quantidades potencialmente exportadas pela cultura da soja.

As indicações técnicas desses nutrientes são para aplicação de 2 g/ha a 3 g/ha de Co e 12 g/ha a 25 g/ha de Mo. Estas doses podem ser aplicadas, com a mesma eficiência, tanto via tratamento de semente ou em pulverização foliar, nos estádios de desenvolvimento V3-V5.

Balanço da adubação como critério de recomendação de adubação - AFERE

O Balanço da Adubação consiste no cálculo da diferença entre as quantidades aplicadas e exportadas de nutrientes por uma cultura (Figura 2), e possibilita aferir o resultado desde um talhão, uma propriedade, e até de um Estado ou País, quanto às entradas e saídas de nutrientes.

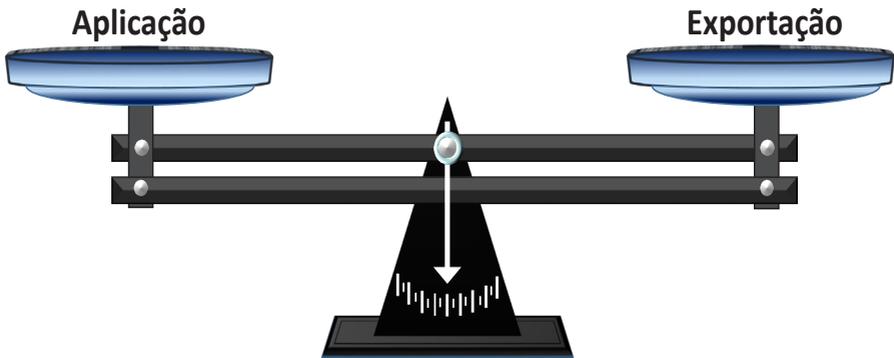
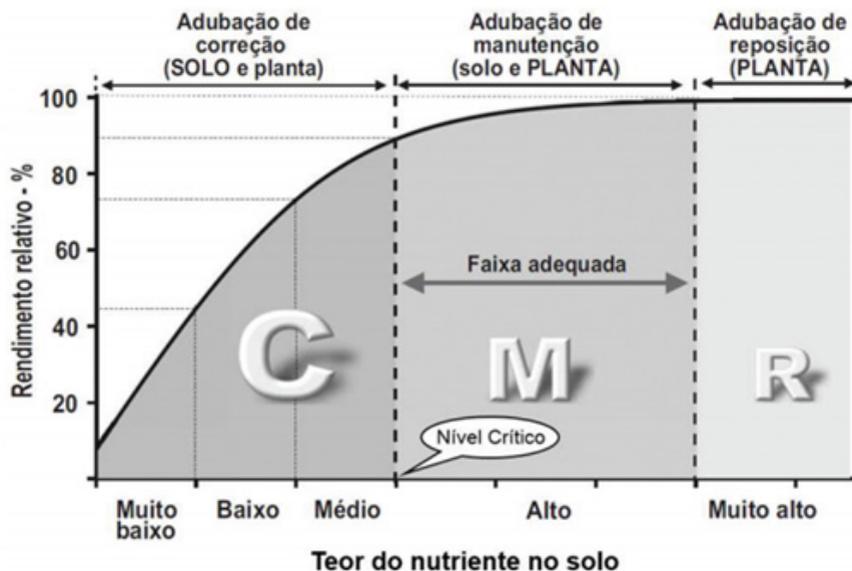


Figura 2. Representação esquemática do balanço da adubação.

Balanços negativos indicam que as quantidades aplicadas foram inferiores às exportadas (entradas < saídas), ao passo que, os balanço positivos, indicam que as entradas foram superiores às saídas (entradas > saídas). Vale ressaltar que balanços negativos levam a diminuição do teor dos nutrientes no solo e a magnitude dessa redução é diretamente proporcional à concentração nos grãos e a produtividade obtida. Nesse sentido, culturas com alto de proteína (ex. soja), apresentam maiores concentrações de nutrientes nos grãos, do que culturas que possuem alta concentração de carboidratos (ex. milho e trigo).

Em áreas com teores dos nutrientes interpretados como Bom/Alto ou Muito bom/Muito Alto, o balanço pode ser utilizado, principalmente, como um indicador de ajuste na recomendação de nutrientes visando sua reposição (Figura 3). Nesse sentido, é importante ressaltar que

os materiais genéticos (cultivares/híbridos) que estão sendo disponibilizados aos produtores possuem alto potencial produtivo, o que traz a necessidade de repor as quantidades de nutrientes compatíveis com as produtividades almejadas.



Fonte: Adaptada de CQFS-RS/SC (2004) por Resende et al., (2016).

Figura 3. Classes de interpretação dos teores de nutriente no solo.

Para tanto, foi desenvolvida a plataforma AFERE - Avaliação da Fertilidade do Solo e Recomendação da Adubação, que numa primeira etapa (módulo 1) calcula o balanço da adubação através da correlação entre as produtividades das culturas e os valores exportados de nutrientes, e indica a necessidade de adubação visando, no mínimo, a reposição dos nutrientes retirados do solo e exportados pelos grãos.

Como a soja está inserida em diferentes sistemas de produção, em rotação ou sucessão com milho e trigo, principalmente, o AFERE reúne informação sobre diferentes culturas e calcula o balanço da adubação tanto de culturas, quanto de sistemas de produção. Assim, o AFERE integra as informações e fornece recomendações técnicas ajustadas aos

diversos sistemas de produção, possibilitando evitar manejos de adubação deficientes e que conduzem à fome oculta ou deficiência visual de nutriente e conseqüente redução da produtividade, bem como, aplicação excessiva de nutrientes, com reflexos nos custos de produção e na rentabilidade agrícola.

Como sustentação técnica, a plataforma AFERE foi parametrizada a partir de informações geradas em projetos de pesquisa da Embrapa, Institutos Estaduais e Fundações de Pesquisa, além de Universidades e grupos de pesquisas/consultorias, o que possibilita a interpretação dos resultados dos novos padrões nutricionais, condizentes com os atuais patamares de produtividade, além de dar robustez aos resultados.

Desta forma, este ajuste possibilitará que os teores dos nutrientes no solo continuem adequados, fazendo com que a fertilidade do solo, considerando principalmente os aspectos químicos, não seja um fator limitante à obtenção de altas produtividades.

O acesso à plataforma está disponível no seguinte endereço: www.embrapa.br/soja/afere

Considerações finais

Apesar de todos os avanços tecnológicos na agricultura e do elevado custo dos fertilizantes, têm sido comuns os erros na adubação, resultando no aparecimento de sintomas de deficiência ou toxicidade de nutrientes, além de fome oculta e desbalanços nutricionais que afetam negativamente a produtividade.

A adubação deve ser realizada a partir de critérios técnicos que permitam avaliar corretamente a fertilidade do solo e propiciem o uso eficiente dos fertilizantes, o atendimento das necessidades nutricionais das plantas e a máxima eficiência econômica para o produtor. A avaliação da fertilidade do solo baseia-se na identificação de fatores nutricionais que limitam a obtenção de altas produtividades, por meio da análise química de solo, podendo ser complementada pela diagnose foliar.

A análise química de solo, o histórico de manejo da fertilidade do solo e dos cultivos e as metas de produtividade deveriam ser os principais critérios técnicos para a tomada de decisão da adubação. É interessante observar que no Brasil existem redes oficiais de laboratórios credenciados de análises de solo e de tecidos vegetais que atendem as principais regiões agrícolas do País. No entanto, apesar do maior uso da análise de solo, é comum o seu emprego basicamente para efeitos de correção de solo e de adubação com fósforo e potássio, esquecendo-se dos demais nutrientes. Por exemplo, mesmo quando são realizadas análises de macro e micronutrientes no solo, não são criteriosamente observados e interpretados os teores dos demais nutrientes no solo, gerando inadequada solução dos problemas; como se a “lei do mínimo”, de 1840, formulada por Justus von Liebig, não estivesse mais em vigor.

Apesar de poucos agricultores utilizarem a análise de tecido, essa é uma prática eficaz para avaliar o estado nutricional das plantas e para ajustar e aferir a eficiência do manejo das adubações. A interpretação é normalmente realizada por comparação com faixas de teores de nutrientes. Outra possibilidade é a interpretação por meio do Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS) que visa avaliar o equilíbrio nutricional entre todos os nutrientes, a fim de definir estratégias de adubação mais eficientes, principalmente face aos altos preços dos fertilizantes.

Ainda que as novas tecnologias promovam o aumento da eficiência do uso dos fertilizantes, a carência de um diagnóstico correto, quer seja pelo uso ineficiente das análises de solo, pela quase total falta de adoção da análise de tecido, pela negligência em sua realização e interpretação, ou ainda, pela aplicação incorreta de conceitos de manejo da fertilidade, tem determinado uma maior frequência de desbalanços nutricionais.

Finalmente, as informações contidas no capítulo procuram demonstrar que o manejo correto da adubação é regionalizado e envolve um conjunto de premissas para sua maior eficiência. Outra questão importante é que a eficiência dos fertilizantes e a resposta à adubação da soja são altamente dependentes de fatores do clima, principalmente volume e distribuição das chuvas, e das propriedades físico-químicas e biológicas do solo.

Referências

- 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.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5a. aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.
- ALVAREZ V., V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5a. aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 43-64.
- BATAGLIA, O. C.; FERRAREZI, R. S.; FURLANI, P. R.; MEDINA, C. L. **Projeto fósforo no sistema de plantio direto**: relatório final - fósforo. Piracicaba: Fundação Agrisus, 2009. 30 p. (Projeto Agrisus PA-541-09).
- BORKERT, C. M.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA, F. A. de; SFREDO, G. J.; CASTRO, C. de. Estimativa do nível crítico de cobre para a soja, em solos do Paraná. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 28., 2006, Uberaba. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja: Fundação Meridional: Fundação Triângulo, 2006. p. 426-427. (Embrapa Soja. Documentos, 272).
- BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de. **Aplicação simultânea de herbicidas dessecantes e boro**. Londrina: Embrapa Soja, 2006. 1 folder.
- BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. Boron foliar application on sunflower (*Helianthus annuus* L.) associated with herbicides. **Helia**, v. 31, n. 48, p. 127-136, Jul. 2008.
- CAIRES, E. F.; GUIMARÃES, A. M. A Novel phosphogypsum application recommendation method under continuous no-till management in Brazil. **Agronomy Journal**, v. 110, n. 3, p. 1987-1995, 2018.
- CASTRO, C. de; BORKERT, C. M.; OLIVEIRA, F. A. de; SIBALDELLI, R. N. R.; MORAES, J. Z. Resposta da soja à aplicação de boro em latossolo vermelho distrófico. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA NA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 26., 2004, Ribeirão Preto. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja: Fundação Meridional, 2004. p. 94-95. (Embrapa Soja. Documentos, 234).
- CASTRO, C. de; BRIGHENTI, A. M. Compatibility of herbicides with boron fertilizers for weed desiccation and mineral nutrition of sunflower. **Helia**, v. 30, n. 47, p. 1-14, 2007.

DRIS - Diagnóstico nutricional para soja. Londrina: Embrapa Soja, 2003. Disponível em: <www.cnpso.embrapa.br/dris/>. Acesso em: 20 set. 2019.

FOLONI, J. S. S.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de. Cultivares de soja submetidas à calagem superficial e adubação de sistema com fósforo e potássio na sucessão trigo/soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 8., 2018, Goiânia. **Inovação, tecnologias digitais e sustentabilidade da soja**: anais. Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 845-847.

GALRÃO, E. Z. Micronutrientes. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p. 185-226.

KURIHARA, C. H.; STAUT, L. A.; MAEDA, S. Faixas de suficiência de nutrientes em folhas de soja, em Mato Grosso do Sul e Mato Grosso, definidas pelo uso do método DRIS de diagnose do estado nutricional. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 30., 2008, Londrina. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2008. (Embrapa Soja. Documentos, 304).

LOPES, A. S. **Micronutrientes**: filosofias de aplicação e eficiência agrônômica. São Paulo: ANDA, 1999. 70 p. (ANDA. Boletim técnico, 8).

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral das plantas**. São Paulo: Agro-nômica Ceres, 1980. 251 p.

MANUAL de calagem e adubação para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11. ed. Porto Alegre: SBCS, Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, 2016. 376 p.

NOVAIS, R.F. Soja. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5a. aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 314-316.

OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de. Produtividade da soja em resposta à aplicação de N e K na cultura da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 7.; MERCOSOJA, 2015, Florianópolis. **Tecnologia e mercado global**: perspectivas para soja: anais. Londrina: Embrapa Soja, 2015. 4 p. 1 CD-ROM.

OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de; FURTINI NETO, A. E. Formulações e formas de aplicação de fósforo: resultados sumarizados dos experimentos conduzidos pela Embrapa. **Anuário de Pesquisas COMIGO: agricultura - resultados 2019**, v. 2, p. 80-91, 2019.

OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CASTRO, C. de; OLIVEIRA, F. A. de; KLEPKER, D. Produtividade da soja, do trigo e do girassol em resposta à aplicação de boro: resultados sumarizados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 8., 2018, Goiânia. **Inovação, tecnologias digitais e sustentabilidade da soja: anais**. Brasília, DF: Embrapa, 2018. p. 729-731.

OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CASTRO, C. de; PEREIRA, L. R.; DOMINGOS, C. da S. **Estádios fenológicos e marcha de absorção de nutrientes da soja**. Paçandu: Fortgreen; Londrina: Embrapa Soja, 2016. 1 cartaz, color., 70 cm x 100 cm.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; ABREU, C. A. Interpretação de resultados de análise de solo. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, 1996. p.8-13. (IAC. Boletim Técnico, 100).

REIN, T. A.; SOUSA, D. M. G. de; Adubação com enxofre. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**, 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 227-244.

RESENDE, A. V. de; BORGHI, E.; GONTIJO NETO, M. M.; FONTOURA, S. M. V.; BORIN, A. L. D. C.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de; CARVALHO, M. da C. S.; KAPPES, C. Balanço de nutrientes e manejo da adubação em solos de fertilidade construída. In: SEVERIANO, E. da C.; MORAIS, M. F. de; PAULA, A. M. de. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: SBCS, 2019. v. 10, p. 342-398.

REUNIÃO DE PESQUISA DA SOJA DA REGIÃO SUL, 41., 2016, Passo Fundo. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2016/2017 e 2017/2018**. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo: Apassul, 2016. 127 p.

SCHERER, H. W.; MENGEL, K.; DITTMAR, H.; DRACH, M.; VOSSKAMP, R.; TRENKEL, M. E.; GUTSER, R.; STEFFENS, G.; CZIKKELY, V.; NIEDERMAIER, T.; HÄHNDEL, R.; PRÜN, H.; ULLRICH, K-U.; MÜHLFELD, H.; WERNER, W.; KLUGE, G.; KUHLMANN, F.; STEINHAUSER, H.; BRÄNDLEIN, W.; KUMMER, K-F. Fertilizers. In: **ULLMANN'S Encyclopedia of Industrial Chemistry**. 7th. ed. [S. l.]: Wiley InterScience, 2011.

SCHUBERT, D. Boron oxides, boric acid, and borates. In: **Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology**. [S. l.]: John Wiley & Sons, 2011. p.1-68. DOI: 10.1002/0471238961.0215181519130920.a01.pub3.

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M.; OLIVEIRA JUNIOR, A. de; OLIVEIRA, F. A. de; CASTRO, C. de F. Estimativa do nível crítico de manganês trocável, em solos do Paraná. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 28., 2006, Uberaba. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja: Fundação Meridional: Fundação Triângulo, 2006. p. 432-433. (Embrapa Soja. Documentos, 272).

SFREDO, G. J.; KLEPKER, D.; ORTIZ, F. R.; OLIVEIRA NETO, W. de. Enxofre: níveis críticos para a soja, nos solos do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Solo**: alicerce dos sistemas de produção. Botucatu: UNESP; SBSC, 2003.

SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, A. Correção e acidez do solo. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p. 81-96.

SOUSA, D. M. G. de; NUNES, R. de. S.; REIN, T. A.; SANTOS JÚNIOR, J. de. D. G. S. dos. **Manejo da Adubação Fosfatada para Culturas Anuais no Cerrado**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2016. 10 p (Embrapa Cerrados. Circular Técnica 33).

VILELA, L.; SOUSA, D. M. G. de; SILVA, J. E. da. Adubação potássica. In: SOUSA, D. M. G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado**: correção do solo e adubação. 2. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2004. p. 169-183.

ZANCANARO, L.; ONO, F.B.; KAPPES, C.; SEMLER, T. D.; VALENDORFF, J. D. P.; CORADINI, D.; VIDOTTI, M. V. **Manejo do solo, adubação e nutrição na cultura da soja**. In: KAPPES, C. (Ed.). Boletim de Pesquisa 2019/2020. Rondonópolis: Fundação MT, 2019. p. 111-136. (Fundação MT. Boletim, 19).

WEAST, R. C.; ASTLE, M. J. **CRC Handbook of Chemistry and Physical: a ready-reference book of chemical and physical data**. 62th ed. Boca Raton: CRC Press, 1982.