

ISSN 1516-781X
Setembro, 2008

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

Documentos 305

SOJA NO BRASIL: CALAGEM, ADUBAÇÃO E NUTRIÇÃO MINERAL

Gedi Jorge Sfredo

Embrapa Soja
Londrina, PR
2008

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Soja

Rodovia Carlos João Strass - Acesso Orlando Amaral

Caixa Postal 231 - 86001-970 - Londrina, PR

Fone: (43) 3371-6000 - Fax: 3371-6100

Home page: www.cnpso.embrapa.br

e-mail (sac): sac@cnpso.embrapa.br

Comitê de Publicações da Embrapa Soja

Presidente: *José Renato Bouças Farias*
Secretária executiva: *Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite*
Membros:

Antonio Ricardo Panizzi
Claudine Dinali Santos Seixas
Francismar Corrêa Marcelino
Ivan Carlos Corso
Maria Cristina Neves de Oliveira
Norman Neumaier
Rafael Moreira Soares
Sérgio Luiz Gonçalves

Coordenador de editoração: *Odilón Ferreira Saraiva*

Bibliotecário: *Ademir Benedito Alves de Lima*

Editoração eletrônica: *Marisa Yuri Horikawa*

Capa: *Danilo Estevão / Carlos Angelo Nóbile Filho*

1ª edição

1ª impressão (2008): tiragem 2000 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

Sfredo, Gedi Jorge

Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral /
Gedi Jorge Sfredo - Londrina: Embrapa Soja, 2008.

148 p. - (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 1516-781X;
n.305)

1. Soja-Adubação. 2. Soja-Nutrição mineral. 3. Soja-Cala-
gem. I. Título. II. Série.

CDD 633.3480981

Autor

Gedi Jorge Sfredo

Engenheiro Agrônomo, Ph.D., Pesquisador

Embrapa Soja

Rod. Carlos João Strass Acesso Orlando Amaral

Caixa Postal, 231

CEP: 86.001-970

Londrina, PR

Fone: (43) 3371-6227

e-mail: sfredo@cnpso.embrapa.br

Apresentação

A agricultura moderna exige o uso de insumos em quantidades adequadas, de modo a atender critérios econômicos e, ao mesmo tempo, conservar o solo, possibilitando manter ou elevar a produtividade das culturas.

Com o constante aumento do custo de produção, é necessário que se utilize níveis mínimos de fertilizantes, que permitam boas produtividade e maior retorno econômico. Se for feito um acompanhamento da fertilidade do solo, com análises periódicas, o produtor de soja poderá encontrar um ponto de equilíbrio dos nutrientes no solo e, com isto, fazer o uso racional de fertilizantes ou, até mesmo, suprimir seu uso.

É preocupação constante, dos técnicos da Área de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas da Embrapa Soja, informar objetivamente o uso racional de fertilizantes e calcário.

Com este documento, pretende-se apresentar um conjunto de informações, tabelas e conceitos, relacionados à fertilidade do solo, para orientação dos agricultores e técnicos da assistência técnica, sobre o uso racional e adequado de adubos e corretivos no cultivo da soja, em todo o Brasil. Além disso, há uma revisão completa dos efeitos da nutrição mineral das plantas sobre a qualidade das sementes.

Aqui estão reunidos conhecimentos técnicos de diversas instituições de pesquisa agrícola do País, preocupadas em garantir e incrementar a rentabilidade dos produtores de soja e a preservação da fertilidade dos solos.

José Renato Bouças Farias

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento
Embrapa Soja

Sumário

| | |
|--|----|
| Resumo | 11 |
| Abstract | 12 |
| 1 Introdução | 13 |
| 2 Amostragem e Análise do Solo | 15 |
| 3 Exigências Nutricionais | 19 |
| 3.1 Extração e exportação de nutrientes..... | 19 |
| 3.2 Acúmulo de nutrientes na planta | 20 |
| 4 Funções e Sintomas de Deficiências de Nutrientes | |
| Nutricionais | 23 |
| 4.1 Macronutrientes – N, P, K, Ca, Mg e S | 26 |
| 4.1.1 Nitrogênio (N) | 26 |
| 4.1.2 Fósforo (P)..... | 28 |
| 4.1.3 Potássio (K) | 30 |
| 4.1.4 Cálcio (Ca) | 37 |
| 4.1.5. Magnésio (Mg) | 39 |
| 4.1.6 Enxofre (S)..... | 40 |
| 4.2 Micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl, Ni e Co) | 42 |
| 4.2.1. Cobre (Cu)..... | 42 |
| 4.2.2 Ferro (Fe)..... | 44 |
| 4.2.3 Cobalto (Co) | 46 |
| 4.2.4. Manganês (Mn)..... | 46 |
| 4.2.5 Zinco (Zn) | 50 |
| 4.2.6 Boro (B) | 51 |
| 4.2.7 Molibdênio (Mo)..... | 53 |
| 4.2.8 Cloro (Cl) | 54 |
| 4.2.9 Níquel (Ni)..... | 55 |
| 5 Resultados de Pesquisa | 57 |
| 5.1 Fósforo..... | 58 |
| 5.1.1. Solos de cultivo recente..... | 58 |

| | |
|--|------------|
| 5.1.2 Solos de cultivo antigo | 59 |
| 5.1.3 Fontes de fósforo | 63 |
| 5.2 Potássio | 64 |
| 5.3 Enxofre | 69 |
| 5.4 Micronutrientes | 74 |
| 5.4.1 Molibdênio (Mo) e Cobalto (Co)..... | 75 |
| 5.4.2 Zinco (Zn) | 78 |
| 5.4.3. Manganês (Mn)..... | 79 |
| 5.4.4 Cobre (Cu)..... | 81 |
| 5.4.5 Boro (B) | 82 |
| 5.4.6. Silício (Si) | 83 |
| 5.5 Nutrição de plantas e qualidade das sementes..... | 87 |
| 5.5.1 Fósforo..... | 88 |
| 5.5.2 Potássio | 91 |
| 5.5.3 Fósforo e Potássio..... | 94 |
| 5.5.4 Cálcio e Magnésio | 97 |
| 5.5.5 Zinco | 101 |
| 5.5.6 Peso e densidade das sementes..... | 102 |
| 5.6 Gesso agrícola | 104 |
| 6 Correção da Acidez do Solo | 105 |
| 6.1 Acidez do solo | 105 |
| 6.2 Calagem | 106 |
| 6.2.1 Qualidade e uso do calcário | 107 |
| 6.2.1.1 Eficiência Relativa (ER%) | 108 |
| 6.2.1.2 Valor de Neutralização (VN%) | 108 |
| 6.2.1.3 Poder Relativo de Neutralização Total-PRNT..... | 109 |
| 6.2.2 Recomendação para o Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SBGS-NRS, 2004 e RPSRS, 2006) | 110 |
| 6.2.2.1 Calagem em solos sob preparo convencional | 110 |
| 6.2.2.2 Calagem em áreas manejadas sob sistema de semeadura direta | 110 |
| 6.2.3 Recomendação para os demais estados..... | 113 |
| 6.2.3.1 Saturação de bases | 113 |
| 6.2.3.2 Neutralização do Al^{3+} e suprimento de Ca^{2+} e Mg^{2+} ... | 115 |
| 6.2.4 Calagem no sistema de semeadura direta | 115 |
| 6.2.5 Correção da acidez sub-superficial | 116 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 7 | Recomendação de Adubação para a Soja, no Brasil | |
| | (Correção, 2006) | 119 |
| 7.1 | Nitrogênio | 119 |
| 7.2 | Adubação fosfatada e potássica..... | 120 |
| 7.2.1 | Região do Cerrado (Sousa & Lobato, 1996). | 121 |
| 7.2.1.1 | Adubação fosfatada | 121 |
| 7.2.1.2 | Adubação potássica | 122 |
| 7.2.2 | Estado de Minas Gerais (Ribeiro et al., 1999)..... | 123 |
| 7.2.3 | Estado de São Paulo (Mascarenhas & Tanaka, 1996)..... | 125 |
| 7.2.4 | Estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul (SBCS-NRS, 2004 e RPSRSul, 2006) | 125 |
| 7.2.5 | Estado do Paraná (Correção...,2006)..... | 125 |
| 7.2.6 | Adubação fosfatada e potássica para a sucessão soja/trigo em solos originários de basalto, sob sistema de semeadura direta | 128 |
| 7.2.7 | Sugestões para o arenito de Caiuá | 129 |
| 7.3 | Adubação com enxofre (Sfredo et al., 2003) | 129 |
| 7.4 | Adubação com micronutrientes | 131 |
| 7.4.1. | Adubação com cobalto e molibdênio | 131 |
| 7.5 | Adubação foliar com macro e micronutrientes | 133 |
| 8 | Uso da Informática para Adubação e Nutrição de Soja | 135 |
| 9 | Referências | 137 |

Soja no Brasil: Calagem, Adubação e Nutrição Mineral

Resumo

A agricultura moderna exige o uso de insumos em quantidades adequadas, de modo a atender critérios econômicos e, ao mesmo tempo, conservar o solo, possibilitando manter ou elevar a produtividade das culturas.

Com o constante aumento do custo de produção, é necessário que se utilizem níveis mínimos de fertilizantes, que permitam boas produtividades e um retorno econômico maior. Se for feito um acompanhamento da fertilidade do solo, com análises periódicas, o produtor de soja poderá encontrar um ponto de equilíbrio dos nutrientes no solo e, com isto, fazer o uso racional de fertilizantes ou, até mesmo, suprimir o seu uso.

Este trabalho mostra, de forma objetiva, informações, tabelas, gráficos e conceitos, relacionados à fertilidade do solo, para orientação dos agricultores e técnicos da assistência técnica, sobre o uso racional e adequado de adubos e corretivos no cultivo da soja, em todo o Brasil. Nele, são abordados os macro e os micro-nutrientes de importância fundamental para a cultura da soja, a função que cada um deles desempenha na planta e as suas inter-relações.

Além disso, neste documento, é apresentada uma revisão completa dos efeitos da nutrição mineral das plantas sobre a qualidade das sementes de soja.

Aqui, estão reunidos conhecimentos técnicos de diversas instituições de pesquisa agrícola do País, preocupadas em garantir e incrementar a rentabilidade dos sojicultores e a preservação da fertilidade dos solos.

Termos de indexação: calcário, fertilizantes, sementes, deficiências, recomendações

Abstract

Soybean in Brazil: Liming, Fertilization and Mineral Nutrition

Modern agriculture requires the use of adequate amount of inputs to meet the economic criterias and, at the same time, provide soil conservation to maintain or increase crop productivities.

Along with the continuous increase in the production costs it is necessary the utilization of minimum levels of fertilizers that would allow good productivity and higher economic return. If soil fertility is well managed through timely analysis of the soil, the soybean producer will reach an equilibrium point of the soil nutrients, and based on that the farmer may optimize the fertilizers use or even quit their use.

This review work presents, in an objective way, information, tables, graphs and concepts related to soil fertility as a guide to farmers and people of the technical support, about the rational and adequate uses of fertilizers and liming by soybean growers, throughout Brazil. In this work the micro and macronutrients and their roles of fundamental importance for soybean crop are addressed.

Additionally, it is presented in this article a complete review of the effects of plant mineral nutrition on the quality of soybean seed.

In summary, the technical knowledge of many agricultural research institutions of the country, concerned with the preservation or increase of soybean grower's income, along with soil preservation is gathered together in this work.

Index terms: lime, fertilizer, seeds, deficiency, recommendation

1

Introdução

A soja é uma cultura muito exigente em todos os macronutrientes essenciais. Para que os nutrientes possam ser eficientemente aproveitados pela cultura, devem estar presentes no solo em quantidades suficientes e em relações equilibradas. A insuficiência ou o desequilíbrio entre os nutrientes pode resultar numa absorção deficiente de alguns e excessiva de outros nutrientes.

Para que esse equilíbrio seja alcançado e mantido, é necessário que certas práticas, como calagem e adubação, sejam empregadas de maneira racional. Em várias regiões do País, essas práticas têm sido satisfatórias, quando embasadas em análise do solo e todas as operações que as complementam, seguidas à risca e bem executadas.

Nos últimos anos, a pesquisa na área de Nutrição Mineral e Fertilidade do Solo da Embrapa Soja, tem obtido resultados que, aliados a observações práticas junto aos produtores e à assistência técnica, chegou a modificar as recomendações técnicas nesta área.

2

Amostragem e Análise do Solo

A análise do solo é o início de uma série de fatores que influem na produtividade das culturas em geral. Possíveis erros, que podem ocorrer durante o processo do cultivo econômico de uma lavoura, têm início na coleta das amostras do solo para análise. Por isso, deve-se ter todo o cuidado para que as amostras sejam representativas das áreas a serem cultivadas.

Para tanto, alguns critérios técnicos devem ser adotados:

A coleta das amostras de solo, deve ser efetuada de maneira que haja um tempo hábil para que as análises fiquem prontas e se possa iniciar as atividades de correção do solo e adubação, visando a próxima cultura. Esse tempo hábil inclui, principalmente, a calagem que deve ser feita, no mínimo, 90 dias antes da sementeira de qualquer cultura. Nas regiões onde o período de chuvas é de seis meses, com seis meses sem chuvas, se houver necessidade de calagem, deve-se fazer a análise do solo de tal maneira que se possa aplicar o calcário antes do término do período chuvoso. Desse modo, haverá tempo do corretivo reagir para promover as mudanças benéficas ao solo que será cultivado no próximo período de chuvas.

A área a ser amostrada deve ser dividida em talhões com a maior homogeneidade possível. Isso vai depender do relevo, histórico de utilização, de áreas com erosão ou não, do teor de matéria orgânica, da cor do solo e de outros fatores relacionados.

Daí a necessidade de amostras homogêneas, para que a análise retrate a situação mais próxima da realidade daquele solo. Entretanto, não há uma quantidade definida de amostras por área de solo. A escolha da quantidade vai depender do conhecimento que o produtor e/ou o Técnico da Assistência Técnica tem da área a ser cultivada.

A sugestão é que, para uma maior representatividade, devem ser coletadas de dez a 20 amostras simples (fração homogeneizada de 500 g), em pontos distribuídos aleatoriamente, em cada área; o conjunto de amostras simples constituirá a amostra composta.

Na retirada das amostras do solo, com vistas à caracterização da fertilidade, o interesse é pela camada arável do solo, a qual, normalmente, é a mais intensamente alterada por arações, gradagens, corretivos, fertilizantes e restos culturais. A amostragem deverá, portanto, contemplar essa camada, ou seja, os primeiros 20 cm de profundidade.

No sistema de semeadura direta, indica-se que, sempre que possível, as amostragens sejam realizadas em duas profundidades (0-10 e 10-20 cm), com o objetivo principal de se avaliar a disponibilidade de cálcio, magnésio e a variação da acidez entre as duas profundidades. Para a análise da avaliação da acidez subsuperficial e da disponibilidade de enxofre deve-se, também, coletar à profundidade de 20 a 40 cm.

O laboratório deve ser escolhido entre aqueles que façam controle de qualidade das análises, tanto de solo como de tecido vegetal. Esse controle é feito por estado ou por região, tendo sempre um Coordenador, de um dos laboratórios, que envie as amostras padrões para cada participante e, após, faça as análises de desvios dos resultados de todos os participantes, indicando onde cada um deve corrigir seus possíveis desajustes analíticos. Deve-se dar preferência, também, ao laboratório da própria região, pois os métodos analíticos podem ser diferentes do pretendido para aquela região específica. Isso porque as recomendações de adubos e corretivos se baseiam na análise do solo dentro de cada região ou mesmo do estado.

As indicações de adubação devem ser orientadas pelos teores dos nutrientes determinados na análise de solo. Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros para a interpretação da análise do solo.

TABELA 1. Níveis de alguns componentes do solo para efeito da interpretação de resultados de análise química do solo, para a cultura da soja.¹

| Níveis | cmolc dm ⁻³ de solo | | g kg ⁻¹ | | Saturação na CTC (%) | | | Relações | | | |
|--|--------------------------------|------------------|--------------------|------|----------------------|------------------|------------------|----------------|---------|-------|------|
| | Al ³⁺ | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | C | M.O. | Ca ²⁺ | Mg ²⁺ | K ⁺ | Ca/Mg | Ca/K | Mg/K |
| Em solos com CTC < 8 cmolc dm ⁻³ 12 | | | | | | | | | | | |
| Baixo | < 0,02 | < 1 | < 0,4 | < 8 | < 15 | < 26 | < 13 | < 3 | < 1 | < 10 | < 5 |
| Médio | 0,02-1,5 | 1-2 | 0,4-0,8 | 8-14 | 15-25 | 26-34 | 13-18 | 3-5 | 1-2 | 10-20 | 5-10 |
| Alto | > 1,5 | > 2 | > 0,8 | > 14 | > 25 | > 34 | > 18 | > 5 | > 2 | > 20 | > 10 |
| Em solos com CTC ≥ 8 cmolc dm ⁻³ 13 | | | | | | | | | | | |
| Baixo | < 0,02 | < 2 | < 0,4 | < 8 | < 15 | < 35 | < 13 | < 3 | < 1,5 | < 8 | < 3 |
| Médio | 0,02-1,5 | 2-4 | 0,4-0,8 | 8-14 | 15-25 | 35-50 | 13-20 | 3-5 | 1,5-3,5 | 8-16 | 3-6 |
| Alto | > 1,5 | > 4 | > 0,8 | > 14 | > 25 | > 50 | > 20 | > 5 | > 3,5 | > 16 | > 6 |

¹ Para fósforo (P), potássio (K), enxofre (S) e micronutrientes, verificar nas Tabelas de adubação.

² Sfredo et al., 2006 a e b; Borkert et al., 2006 a

³ Sfredo et al., 1999a.

3

Exigências Nutricionais

3.1 Extração e exportação de nutrientes

A Tabela 2 mostra as quantidades de nutrientes absorvidos pela soja (Correção...,2006). De acordo com essa tabela, a extração de nutrientes pela parte aérea da planta (grãos + palha) obedece a seguinte ordem: $N > K > S > Ca > Mg = P$. Entretanto, dos macronutrientes, 84% de N, 87% de P, 56% de K, 15% de Ca, 22% de Mg e 65% de S são exportados pelos grãos e, com base nisto, a ordem de exportação fica: $N > K > S > P > Ca > Mg$.

Além da análise do solo para indicação de adubação, existe a possibilidade da diagnose foliar que se apresenta como uma ferramenta complementar na interpretação dos dados de análise de solo, para fins de indicação de adubação, principalmente para a próxima safra.

Basicamente, a diagnose foliar consiste em analisar, quimicamente, as folhas e interpretar os resultados conforme a Tabela 3. Os trifólios a serem coletados, sem o pecíolo, são o terceiro e/ou o quarto, a partir do ápice de, no mínimo, 40 plantas no talhão, no início do florescimento (Estádio R1). Quando necessário, para evitar a contaminação com poeira de solo nas folhas, sugere-se que estas sejam mergulhadas em uma bacia plástica com água, em seguida colocadas para secar à sombra e, por fim, embaladas em sacos de papel (não usar sacos plásticos).

Especificamente para os Estados de Mato Grosso do Sul e do Mato Grosso, a interpretação dos resultados de análise foliar é feita a partir de faixas de teores definidas na Tabela 4. Nesses estados, adota-se como folha-índice o terceiro e/ou quarto trifólio com pecíolo, a partir do ápice, coletado no estágio de florescimento pleno (R2).

TABELA 2. Quantidade absorvida e exportação de nutrientes pela cultura da soja

| Parte da planta | N | P ₂ O ₅ (P) | K ₂ O (K) | Ca | Mg | S | B | Cl | Mo | Fe | Mn | Zn | Cu |
|------------------|---|-----------------------------------|----------------------|------|-----|------|---|-----|----|-----|-----|----|----|
| | -----kg (1000 kg) ⁻¹ ou g kg ⁻¹ ----- | | | | | | -----g (1000 kg) ⁻¹ ou mg kg ⁻¹ ----- | | | | | | |
| Grãos | 51 | 10,0(4,4) | 20(17) | 3,0 | 2,0 | 5,4 | 20 | 237 | 5 | 70 | 30 | 40 | 10 |
| Restos culturais | 32 | 5,4(2,4) | 18(15) | 9,2 | 4,7 | 10,0 | 57 | 278 | 2 | 390 | 100 | 21 | 16 |
| Total | 83 | 15,4(6,8) | 38(32) | 12,2 | 6,7 | 15,4 | 77 | 515 | 7 | 460 | 130 | 61 | 26 |
| % Exportada | 61 | 65 | 53 | 25 | 30 | 35 | 26 | 46 | 71 | 15 | 23 | 66 | 38 |

TABELA 3. Concentrações de nutrientes usadas na interpretação dos resultados das análises de folhas de soja do terço superior, no início do florescimento (estádio R1). Embrapa Soja. Londrina, PR. 2002.

| Elemento | Deficiente ou muito baixo | Baixo | Suficiente ou médio | Alto | Excessivo ou muito alto |
|--|---------------------------|-------------|---------------------|-------------|-------------------------|
| -----g kg ⁻¹ ----- | | | | | |
| N | < 32,5 | 32,5 a 45,0 | 45,0 a 55,0 | 55,0 a 70,0 | > 70,0 |
| P | < 1,6 | 1,6 a 2,5 | 2,5 a 5,0 | 5,0 a 8,0 | > 8,0 |
| K | < 12,5 | 12,5 a 17,0 | 17,0 a 25,0 | 25,0 a 27,5 | > 27,5 |
| Ca | < 2,0 | 2,0 a 3,5 | 3,5 a 20,0 | 20,0 a 30,0 | > 30,0 |
| Mg | < 1,0 | 1,0 a 2,5 | 2,5 a 10,0 | 10,0 a 15,0 | > 15,0 |
| S | < 1,5 | 1,5 a 2,0 | 2,0 a 4,0 | > 4,0 | - |
| -----mg kg ⁻¹ ----- | | | | | |
| Mn | < 15 | 15 a 20 | 20 a 100 | 100 a 250 | > 250 |
| Fe | < 30 | 30 a 50 | 50 a 350 | 350 a 500 | > 500 |
| B | < 10 | 10 a 20 | 20 a 55 | 55 a 80 | > 80 |
| Cu ¹ | | < 6 | 6 a 14 | > 14 | |
| Zn | < 11 | 11 a 20 | 20 a 50 | 5,0 a 75 | > 75 |
| Mo | < 0,5 | 0,5 a 1 | 1 a 5,0 | 5,0 a 10 | > 10 |
| Relações entre teores de nutrientes nas folhas de soja, para o Estado do Paraná ² | | | | | |
| Ca/Mg | | < 1,5 | 1,5 a 3,5 | > 3,5 | |
| K/Ca | | < 3,1 | 3,1 a 6,3 | > 6,3 | |
| K/Mg | | < 5,6 | 5,6 a 10,0 | > 10,0 | |
| K/(Ca + Mg) | | < 1,4 | 1,4 a 3,3 | > 3,3 | |
| K/(Ca/Mg) | | < 0,8 | 0,8 a 1,7 | > 1,7 | |

¹ Sfredo et al., 2001.² Sfredo et al., 1999a.

3.2 Acúmulo de nutrientes na planta

A absorção de nutrientes pela soja é medida pela quantidade acumulada nas folhas e caules da planta, conforme mostrado na Fig. 1, e, é crescente até atingir o ponto de máximo acúmulo, que é de 75 dias para. A partir daí, o acúmulo é decrescente, devido à translocação dos nutrientes para os grãos em formação (Cordeiro et al., 1979).

TABELA 4. Teores de nutrientes usados na interpretação dos resultados das análises de folhas de soja, para os Estados do MS e do MT (estádio R2)¹.

| Elemento | Baixo | Suficiente | Alto |
|----------|--------------------------------|-------------|--------|
| |g kg ⁻¹ | | |
| N | < 34,7 | 34,7 a 45,2 | > 45,2 |
| P | < 2,4 | 2,4 a 3,7 | > 3,7 |
| K | < 17,6 | 17,6 a 26,3 | > 26,3 |
| Ca | < 7,5 | 7,5 a 13,1 | > 13,1 |
| Mg | < 2,9 | 2,9 a 4,5 | > 4,5 |
| S | < 2,0 | 2,0 a 3,1 | > 3,1 |
| |mg kg ⁻¹ | | |
| B | < 33 | 33 a 50 | > 50 |
| Cu | < 5 | 5 a 11 | > 11 |
| Fe | < 58 | 58 a 114 | > 114 |
| Mn | < 31 | 31 a 71 | > 71 |
| Zn | < 33 | 33 a 68 | > 68 |

¹ Terceiro e/ou quarto trifólio com pecíolo.

Kurihara, 2004.

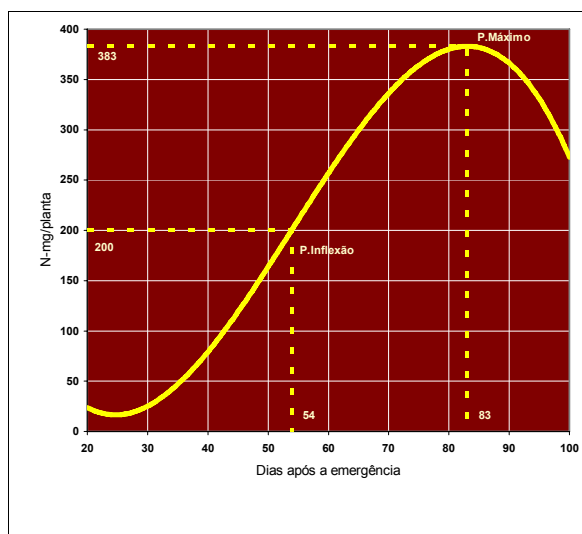


Fig.1. Absorção de N pelas folhas de soja, em função da idade da planta.

A maior velocidade de absorção ocorre aos 45 dias, correspondendo ao ponto de inflexão da curva, no início da floração das plantas. Esse período de 30 dias, entre o ponto de inflexão e o ponto de máximo acúmulo, compreendido da floração ao enchimento das vagens, constitui o “período crítico” da cultura, onde fatores adversos como estiagem, carência nutricional, ataque de pragas e doenças podem reduzir drasticamente a produção de grãos.

Nessa época, a quantidade extraída corresponde a 52% da quantidade máxima acumulada.

Pelos resultados em questão, vê-se que, num período de 30 dias, que é a diferença entre o ponto de inflexão e o ponto de máximo acúmulo, a planta extrai cerca de 50% das suas necessidades de nitrogênio, enquanto que os outros 50% são absorvidos desde a emergência até o ponto de inflexão (44 dias).

Pelo exposto, torna-se claro que a fase crítica para suprimento de nutrientes se inicia a partir dos 40 dias após a emergência, prolongando-se até o ponto de máximo acúmulo.

Portanto, quando houver necessidade de aplicação de nutrientes para as plantas, deve-se efetuar-la antes do ponto de inflexão, que corresponde ao início da floração. Como exemplo, podemos citar a aplicação de potássio em cobertura, nos solos de textura média a arenosa.

4

Funções e Sintomas de Deficiências de Nutrientes Nutricionais

Antes de se fazer um diagnóstico do estado nutricional das plantas, por deficiência ou por excesso, torna-se imprescindível observar algumas informações para distinguir os sintomas nutricionais de outras possíveis causas, tais como: incidência de pragas ou de doenças, distribuição das plantas com sintomas na lavoura, simetria dos sintomas nas folhas com mesma idade fisiológica, condições climáticas e gradiente de desenvolvimento dos sintomas nas plantas. A razão principal pela qual a folha é preferencialmente analisada, é que a mesma é o órgão que, de modo geral, reflete melhor o estado nutricional das plantas, ou seja, responde mais prontamente às variações do suprimento ou falta de um determinado nutriente ou elemento tóxico, existente no solo ou fornecido pelos adubos.

Os nutrientes apresentam diferenças nas suas funções como constituintes metabólicos e estruturais dos órgãos vegetais. Isso determina uma variação no grau de transporte e redistribuição dos nutrientes, que ocorre predominantemente pelo floema, distinguindo-os em grupos de nutrientes móveis, de mobilidade intermediária e pouco móveis, conforme a seguir:

- ▶ **Alta:** N, P, K, Mg e Cl;
- ▶ **Intermediária:** S, Co, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn;
- ▶ **Baixa:** Ca e B.

A maior ou menor mobilidade dos nutrientes no floema tem profunda importância prática na identificação visual dos sintomas característicos de alguma anormalidade (deficiência ou toxicidade). A localização da sintomatologia nas folhas ocorrerá em função da redistribuição dos nutrientes para os pontos de crescimento, dependentes de diversos fatores como o estágio de desenvolvimento das plantas e a velocidade de movimentação, entre

outros. Assim, a localização das folhas com sintomas (folhas de baixo ou de cima), favorece a separação dos nutrientes pelos grupos de mobilidade e, dessa maneira, aumenta as chances de predição do nutriente causador do sintoma. Dessa maneira, observa-se que os sintomas do nutriente com grande mobilidade (redistribuição) aparecem, primeiramente, nas folhas mais velhas. Por outro lado, para os nutrientes com menor redistribuição, os sintomas de deficiências aparecem nas folhas novas. Em todos os casos, é possível identificar um gradiente de intensidade dos sintomas típicos. Vale lembrar, que essa classificação tem uma função muito mais didática que fisiológica.

- ▶ nutrientes móveis: causam sintomas nas folhas mais velhas (gradiente de aumento dos teores das folhas velhas para as folhas novas);
- ▶ nutrientes intermediários: causam sintomas nas folhas velhas mas, predominantemente, nas folhas novas;
- ▶ nutrientes imóveis: causam sintomas em folhas mais novas (gradiente de aumento dos teores das folhas novas para as folhas velhas).

Como aplicação prática da avaliação da diagnose visual, tem-se a possibilidade de identificação da necessidade de aplicação de determinado nutriente que estaria limitando a produção ou, mais amplamente, o ajuste no programa de adubação. Contudo, a decisão final só será eficientemente tomada, a partir da diagnose foliar, através da análise química das folhas das plantas com algum sintoma visual, comparado-as com as análises das folhas das plantas consideradas sadias.

Finalmente, uma prática de manejo eficiente, juntamente com a análise do solo, é o diagnóstico do estado nutricional das plantas, que deve ser adotado pelos agricultores, independente do aparecimento de sintomas. Para tanto, um aspecto importante é a época de amostragem e a escolha da folha a ser colhida. A época recomendada é quando 50 % das plantas do talhão estão no início do florescimento (fase de desenvolvimento R_1), que ocorre com o aparecimento de uma flor aberta em qualquer nó da haste principal. Deve-se colher, por talhão, em torno de 35 folhas (os três folíolos, sem o pecíolo), recém-maduras que, de modo geral, correspondem

à terceira ou quarta folha a partir do ápice da haste principal (Fig.2). No Mato Grosso e no Mato Grosso do Sul, utiliza-se a mesma metodologia, com exceção da fase de desenvolvimento que é no R_2 e a folha é coletada com pecíolo. Essa prática, além de possibilitar o monitoramento da evolução da lavoura, ao longo das safras, é importante, pois, nem sempre, a identificação visual é suficiente para a avaliação completa do estado nutricional das plantas, tendo em vista que as relações entre os nutrientes podem ser mais importantes do que a identificação isolada de um único elemento problema.

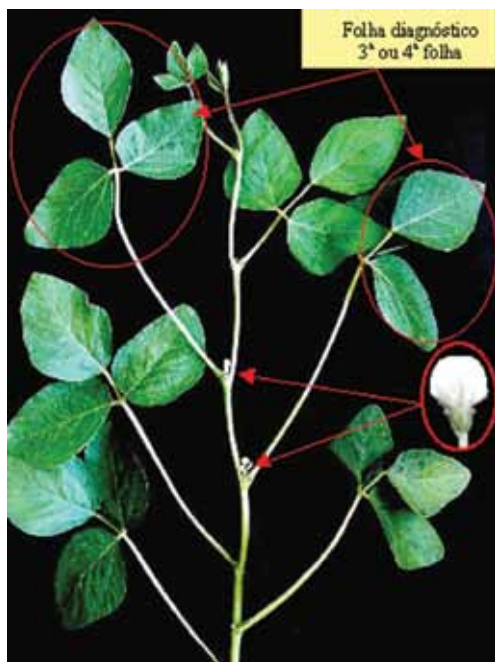


Fig.02. Terceira ou quarta folha de soja, que podem ser colhidas para a análise de tecido.

4.1 Macronutrientes – N, P, K, Ca, Mg e S

4.1.1 Nitrogênio (N)

O N pode ser absorvido como amônio e nitrato. A forma predominante é a de nitrato e, quando isso acontece, o NO_3^- deve ser reduzido a NH_4^+ para o N ser transformado em aminoácidos e proteínas. Nas leguminosas, contudo, o nitrogênio atmosférico é fixado simbioticamente em amônia nos nódulos radiculares e, transportado como íon amônio. Para uma eficiente fixação biológica, há a necessidade da presença de molibdênio e cobalto.

O N é um constituinte de aminoácidos, nucleotídeos e coenzimas. A pequena fração, presente como NO_3^- ou NH_4^+ , tem como função ativar enzimas. Cerca de 90% do N total da planta encontram-se na forma orgânica (aminoácidos livres, proteínas, amidos, purinas, piridinas, ácidos nucléicos, vitaminas etc). É um nutriente bastante móvel no floema, provocando sintomas de deficiência, inicialmente, nas partes mais velhas da planta. Esses sintomas são, clorose total, seguida de necrose, devido à menor produção de clorofila. Quando a planta é deficiente em N, a relação carboidratos solúveis/proteína é maior pois há falta de N para a síntese de proteína.

Uma particularidade do N é o acúmulo de NO_3^- nas plantas, que ocorre quando não há reação de redução pelo sistema enzimático. Uma enzima, responsável por essa reação, é o dinucleotídeo de flavina e adenina (FAD), que possui o Mo como grupo prostético. O acúmulo de nitrato em plantas alimentícias é prejudicial ao homem e aos animais, devido à sua redução a NO_2^- no tubo digestivo, que se combina com a hemoglobina do sangue, produzindo a meta-hemoglobina que funciona como transportadora de O_2 , ocasionando deficiência de O_2 .

Observações:

- (1) na deficiência de N ocorrem baixos teores de proteínas nos grãos;
- (2) na deficiência de N (Figs 3 e 4) ocorre uma clorose total das folhas mais velhas, seguida de necrose;
- (3) na falta de molibdênio (Mo) e/ou de cobalto (Co), ocorre a deficiência de N (Fig.4).



Fig.03. Deficiência de Nitrogênio. Clorose total da folha. Início nas folhas mais novas.



Fig.04. Deficiência de Nitrogênio devido à falta de Molibdênio (Mo). Amarelo sem Mo; Verde com Mo.

4.1.2 Fósforo (P)

O fósforo é absorvido, predominantemente, na forma iônica como H_2PO_4^- . O ácido fosfórico, H_3PO_4 , dá, por dissociação, três espécies iônicas H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} . A primeira é a forma predominante na faixa de pH 4,0 a 8,0, na qual vivem a maioria das plantas.

O P, absorvido na forma mineral, é rapidamente incorporado aos compostos orgânicos, pois 80% são encontrados como fosfohexases e difosfato de uridina, logo após a absorção, a qual é fortemente influenciada pela concentração de Mg^{2+} no meio, que exerce efeito sinérgico.

Encontram-se, principalmente, os seguintes compostos contendo P: a. ésteres de carboidratos (desdobramento respiratório dos açúcares); b. nucleotídeos (síntese de proteínas, código genético), RNA e DNA; c. fosfolipídeos; d. ácido fítico e seus sais de Ca e Mg (reserva de P na semente); e. fosfatos de adenosina (AMP, ADP, ATP).

O principal papel do P, na fisiologia da planta, é fornecer energia para reações biossintéticas e para o metabolismo vegetal. Havendo deficiência, o P não metabolizado no vacúolo pode sair da célula, sendo direcionado para os órgãos mais novos da planta. Esse nutriente apresenta fácil mobilidade no interior da planta e, por isso, os sintomas de deficiência aparecem, em primeiro lugar, nas partes mais velhas, que apresentam coloração verde-azulada e menor crescimento.

É um nutriente móvel no floema e, juntamente com o nitrogênio e o potássio, é o mais prontamente redistribuído, via floema, para outras partes da planta, em particular aos órgãos novos em crescimento, vegetativos ou reprodutivos, que são drenos preferenciais no desenvolvimento das plantas.

Observações:

- (1) na deficiência de P (Figs 5, 6 e 7), ocorrem plantas com crescimento reduzido, baixa inserção de vagens e folhas mais velhas com coloração verde-azulada;
- (2) a Foto 6 ilustra uma lavoura de soja onde a semeadora não distribuiu corretamente o adubo.



Fig.05. Frente sem fósforo; Fundo; com fósforo. Solo LEa de Ponta Grossa, PR.



Fig.06. À direita: sem fósforo. À esquerda: com fósforo. Solo LVd de Balsas, MA.



Fig.07. Lavoura de soja: faixa sem adubo na semeadora.

4.1.3 Potássio (K)

É absorvido como K^+ e, assim, é transportado pelo xilema, de onde passa rapidamente para o floema. Cerca de 70% do K total acham-se na forma iônica, livre na célula, de onde podem ser retirados pela água. Os 30% restantes são adsorvidos às proteínas, das quais se libertam quando a planta envelhece. A função melhor esclarecida do K é de ativador enzimático, pois cerca de 60 enzimas requerem sua presença, muitas vezes em caráter insubstituível para sua ativação, tais como, enzimas para o desdobramento de açúcares e enzimas para síntese de amido e proteína.

Apesar do K não fazer parte dos compostos da planta, a concentração encontrada nela é alta (no caso da soja, cerca de 3%). Uma explicação para isso, é a baixa afinidade entre o K e a proteína enzimática, pois ele pode ser substituído por outros cátions como Na^+ e Mg^{2+} .

O K regula a abertura e o fechamento dos estômatos nas células-guarda e a turgidez do tecido, criando condições favoráveis para as reações da fotossíntese e outros processos metabólicos.

O K diminui a incidência de doenças da soja, mais do que qualquer outro nutriente. Também, aumenta a resistência ao acamamento, pois acelera a lignificação das células do esclerênquima, principalmente, em presença de nitrogênio.

É um nutriente caracterizado por sua alta mobilidade nas plantas dentro das células, dos tecidos e no transporte a longas distâncias, dirigindo-se das folhas e órgãos mais velhos para os mais novos ou para os frutos em desenvolvimento.

Observações:

(1) a deficiência causa clorose internerval, seguida de necrose nas bordas e ápice das folhas mais velhas, devido à formação da putrescina: a planta mostra aspecto de queimada por fogo, herbicidas etc (Figs 8 a 16);

(2) em solos arenosos, se for aplicado todo na sementeira, deve ocorrer deficiência devido à lixiviação-por isto, 2/3 da dose deve ser aplicada em cobertura (Figs 8, 9 e 10);



Fig.08. Solo arenoso do Cerrado do Sul do Maranhão. Plantas secas: sem Potássio em cobertura: Plantas verdes com Potássio em cobertura.



Fig.09. Solo arenoso do Cerrado do Sul do Maranhão. Plantas secas: sem Potássio em cobertura; Plantas verdes com Potássio em cobertura.

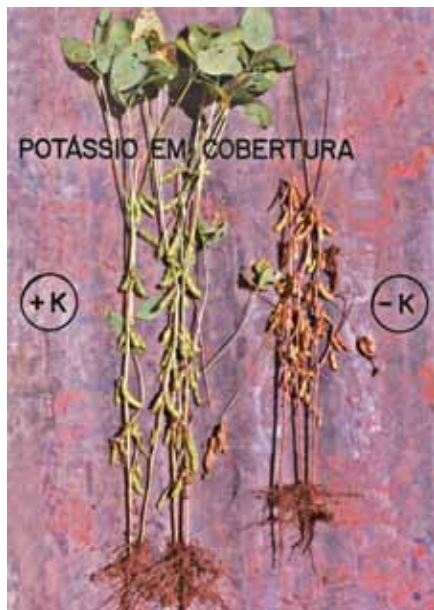


Fig.10. Solo arenoso do Cerrado do Sul do Maranhão. Plantas secas: sem potássio em cobertura; Plantas verdes: com Potássio em cobertura.

- (3) tomada aérea de experimento com doses de K, em Campo Mourão, PR (Fig. 11);
- (4) parcelas com e sem K, em experimento com doses de K (Fig. 12);
- (5) seqüência dos sintomas de deficiência de K: início, intermediário e final (Figs 13 a 16);
- (6) lavoura com esta deficiência, além da redução do rendimento, produz grãos pequenos, enrugados e deformados com baixo vigor e baixo poder germinativo (Fig. 17); mesmo que as vagens sequem, a maturação da planta toda é atrasada, podendo causar, também, haste verde, retenção foliar e vagens chochas.



Fig.11. Vista aérea de Experimento com doses de Potássio (K). Parcelas com soja seca sem K ou com pouco K; soja verde, com K. LRd-Campo Mourão, PR.



Fig.12. Parcelas do Experimento com doses de K: frente sem K; fundos, com K.



Fig.13. Plantas com sintomas iniciais de deficiência de Potássio em soja. Clorose nas bordas das folhas.



Fig.14. Folha com sintomas iniciais de deficiência de Potássio em soja. Clorose nas bordas das folhas



Fig.15. Folha com sintoma intermediário de deficiência de Potássio em Soja. Clorose com início de necrose nas bordas.



Fig.16. Folha com sintoma final de deficiência de Potássio em Soja. Necrose nas bordas das folhas até necrose total.

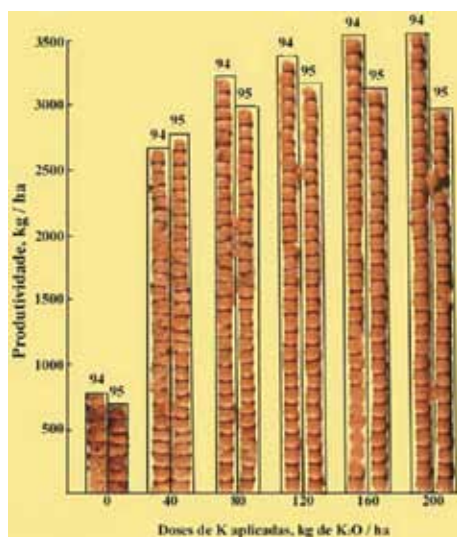


Fig.17. Sementes de soja de cada dose de Potássio, do Experimento com doses de Potássio. Sementes livres de qualquer alteração após a dose de 80 kg/ha de K₂O.

4.1.4 Cálcio (Ca)

A absorção do cálcio é como Ca^{2+} , sendo diminuída em presença de altas concentrações de K^+ e de Mg^{2+} , no meio. O cálcio é transportado no xilema, de forma unidirecional, sob controle metabólico. A maior parte do Ca, na planta, está em formas insolúveis em água: pectato, oxalato ou adsorvido às proteínas.

O Ca mantém a integridade funcional da membrana celular. Na sua falta, essa membrana torna-se porosa, podendo perder íons já absorvidos e, também, absorver íons indesejáveis. A germinação do pólen e o crescimento do tubo polínico são dificultados, quando há carência de Ca. Há enzimas relacionadas com o metabolismo do fósforo que são ativadas pelo Ca (ATPases de membrana). Também, ativa enzimas relacionadas ao metabolismo do fósforo.

O cálcio é um nutriente com baixa mobilidade no floema, com conseqüente aparecimento dos sintomas de deficiência nos tecidos novos da plantas.

Observações:

(1) na deficiência, a membrana torna-se “porosa”, rompendo a compartimentação celular e perdendo a seletividade para íons desejáveis e absorvendo os íons indesejáveis;

(2) na deficiência de cálcio (Figs 18 e 19), são afetados os pontos de crescimento, tanto da raiz como da parte aérea; os sintomas aparecem nas partes mais novas da planta, atrofiando o sistema radicular, matando a gema apical; há o retardamento da emergência das folhas primárias que, quando emergem, adquirem forma de taça, chamado de encarquilhamento (Fig. 18); ocorre, também, colapso do pecíolo (Fig. 19) pela desintegração da parede celulósica; geralmente, esses sintomas ocorrem em solos ácidos e estão associados às toxicidades de alumínio e de manganês.



Fig.18. Deficiência de Cálcio. Folhas novas encarquilhadas.



Fig.19. Deficiência de Cálcio. Folhas novas encarquilhadas com morte da gema apical e quebra do pedúnculo.

4.1.5. Magnésio (Mg)

É absorvido como Mg^{2+} , sendo fortemente influenciado pela presença de K^+ e de Ca^{2+} no meio. O Mg corresponde a 2,7% do peso da clorofila, fazendo parte na sua composição química (50% de Mg contido nas folhas estão no cloroplasto), sendo fundamental nos processos de fotossíntese. A clorofila é o único composto estável, abundante nas plantas, que contém um átomo de Mg não dissociável.

O Mg ativa mais enzimas do que qualquer outro elemento. É ativador de várias enzimas relacionadas à síntese de carboidratos e outras envolvidas na síntese de ácidos nucleicos.

(1) como as transaminases são enzimas que necessitam de Mg para a síntese de proteínas, as plantas deficientes em Mg têm maior relação N-solúvel/N-protéico;

(2) o Mg é muito móvel no floema e, por isso, na deficiência de magnésio (Fig. 20), as folhas mais velhas mostram clorose internerval (amarelo-claro) e nervuras cor verde-pálida.



Fig.20. Deficiência de Magnésio. Folhas com clorose internerval. Limbo amarelo-pálido e nervuras verde-pálida. Início dos sintomas nas folhas mais velhas.

4.1.6 Enxofre (S)

A absorção se dá, predominantemente, na forma de SO_4^{2-} , podendo, também, ser absorvido como S orgânico, na forma de SO_2 (ar) e S molhável (defensivos), pelas folhas. Aproximadamente, 90% do total do S encontrado na planta estão na forma orgânica (cistina, cisteína, metionina, proteínas, glicosídeos e vitaminas). O S é componente de proteínas, inclusive de enzimas, onde o grupo ativo pode ser o radical sulfidrilo (SH). É componente de enzimas e coenzimas e participa do metabolismo dos carboidratos e dos lipídios, através da formação de tioésteres.

O enxofre é um nutriente com o transporte a longa distância ocorrendo, principalmente, pelo xilema e com baixa mobilidade no floema. Por isto, os primeiros sintomas de deficiência aparecem nas folhas novas.

A falta de S provoca uma série de distúrbios metabólicos:

- a) diminuição na fotossíntese e na atividade respiratória;
- b) queda na síntese de proteínas, com o aparecimento de altas relações N solúvel/N protéico;
- c) redução no teor de gorduras;
- d) diminuição nas fixações livre e simbiótica do N^2 do ar;
- e) na deficiência, ocorre clorose uniforme, semelhante à deficiência de N, porém ocorre nas folhas novas, enquanto que a clorose devido à deficiência de N inicia nas folhas mais velhas (Figs 21 e 22); na Fig. 21, compara-se planta com aplicação de S e sem S e a Fig. 22 mostra folhas com e sem S.



Fig.21. Deficiência de Enxofre (S). Esquerda, com S; Direita, sem S; Clorose total das folhas, com início nas folhas mais novas.

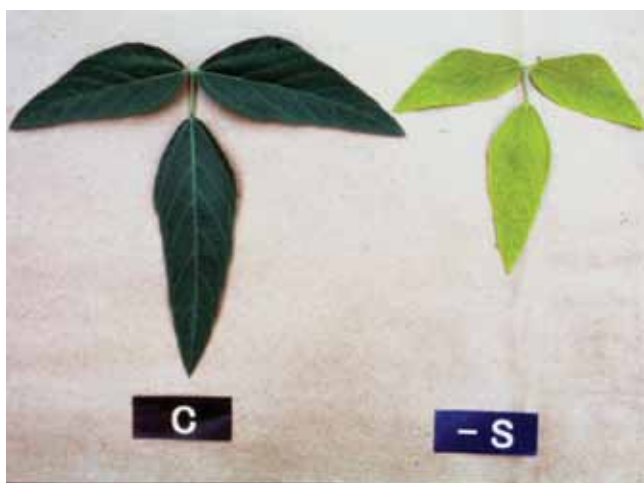


Fig.22. Deficiência de Enxofre (S). Esquerda, com S.; Direita, sem S. Clorose total das folha, com início nas folhas mais novas.

4.2 Micronutrientes (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl, Ni e Co)

4.2.1. Cobre (Cu)

A absorção é na forma de Cu^{2+} , a qual é inibida por altas concentrações de P, Zn, Fe e Mn.

Há várias enzimas contendo Cu ou por ele ativadas, como as oxidases (lacase, polifenol, oxidase, ácido ascórbico, do citocromo e diamino oxidase). Encontra-se predominantemente no cloroplasto, fazendo parte da plastocianina (Mengel & Kirkby, 1987). A nodulação é menor, em leguminosas carentes em cobre. A menor oxidase do citocromo, na carência de Cu, ocasiona elevação no nível de O_2 , condição desfavorável para a redução do N_2 a NH_3 . Atua também como ativador de enzimas que participam do transporte eletrônico terminal da respiração e da fotossíntese.

Plantas deficientes em Cu mostram menor síntese de proteínas e diminuição na atividade fotossintética, uma vez que este nutriente é ativador de enzimas que participam do transporte eletrônico terminal da respiração e da fotossíntese (plastocianina). Os sintomas de deficiência ocorrem nos tecidos mais novos, devido à sua baixa mobilidade na planta.

Devido à pouca mobilidade do Cu no floema, na sua deficiência, as folhas mais novas apresentam os primeiros sintomas, indicando que a quantidade do nutriente translocada no floema, não é suficiente para sustentar o desenvolvimento de novos tecidos.

Observações:

(1) sua deficiência causa redução no crescimento da planta, as folhas mais novas assumem a cor verde-acinzentada ou verde-azulada; há, também, a redução no crescimento das plantas pelo encurtamento dos internódios (Fig. 23);

(2) sua toxicidade causa aparecimento de pontos necróticos nas bordas dos folíolos, das folhas mais velhas (Fig. 24), que progridem para as mais novas.

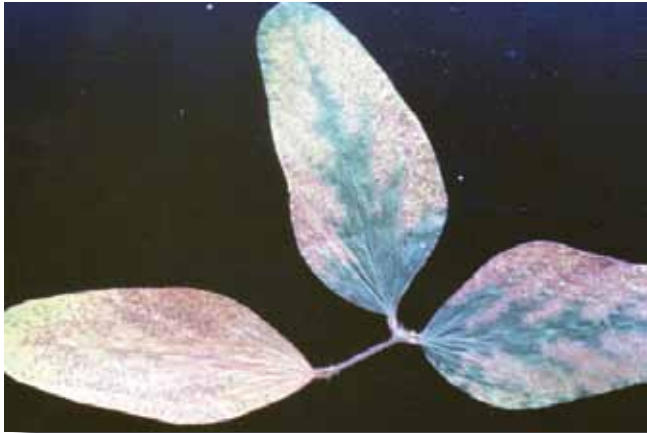


Fig.23. Deficiência de Cobre (Cu). Clorose (cor violeta) nas bordas da folha, evoluindo entre as nervuras. Início nas folhas mais novas.



Fig.24. Toxicidade de Cobre (Cu). Necrose nas bordas das folhas.

4.2.2 Ferro (Fe)

O Fe pode ser absorvido como Fe^{2+} ou Fe^{3+} , com predominância da primeira. Quando absorvido como Fe^{3+} , pode ser reduzido na superfície externa do plasmalema da raiz por elétrons doados por citocromos ou flavinas.

As funções enzimáticas do Fe incluem a catalase, a peroxidase, a aconitase, a nitrogenase, os citocromos a,b e c, a leghemoglobina, a ferredoxina e as redutases do nitrito e do sulfito. Na carência de Fe, há menos RNA e síntese de proteína, pois há uma proteína ribossômica que contém Fé na sua molécula.

Como 75% do Fe das folhas estão nos cloroplastos, quando há deficiência, diminui o teor de clorofila e o número de cloroplastos. Caracteriza-se por possuir mobilidade intermediária nas plantas, fazendo com que a sua deficiência ocorra primeiro nas folhas novas, devido à baixa remobilização a partir das folhas velhas.

Observações:

- (1) sua deficiência causa clorose uniforme das folhas mais jovens, que pode também ser induzida pelo excesso de cobalto aplicado nas sementes (Figs 25 e 26);
- (2) em solos mal drenados, o excesso de chuva pode induzir à toxicidade de Fe, ao aumentar a redução desse elemento no solo, por falta de aeração, pela maior disponibilidade de Fe^{2+} e, conseqüentemente, aumentando a absorção pela planta.



Fig.25. Deficiência de Ferro em 10 plano, devido ao excesso de aplicação de Cobalto.



Fig.26. Deficiência de Ferro, devido ao excesso de aplicação de Cobalto.

4.2.3 Cobalto (Co)

O cobalto é um nutriente absorvido pelas raízes como Co^{2+} , considerado móvel no floema. Contudo, quando aplicado via foliar, é parcialmente móvel. O Co é essencial para a fixação do N_2 através de bactérias, pois participa na síntese de cobamida e da leghemoglobina. Os nódulos com o rizóbio necessitam de Co para sintetizar a vitamina B_{12} , como a enzima cobamida. Portanto, deficiência de Co pode ocasionar deficiência de nitrogênio na soja, devido à baixa fixação simbiótica.

Observações:

(1) sua deficiência causa clorose total, seguida de necrose nas folhas mais velhas, devido à deficiência de nitrogênio;

(2) o excesso de Co diminui a absorção de ferro, motivo pelo qual os sintomas de toxicidade de Co são semelhantes aos de deficiência de ferro, com folhas cloróticas na parte superior das plantas e atrofiamento das plantas (Figs 25 e 26).

4.2.4. Manganês (Mn)

É absorvido como Mn^{2+} e transportado no xilema na forma iônica, devido à pouca estabilidade dos quelatos de Mn. As funções do Mn^{2+} lembram as do Mg^{2+} . O Mn é ativador de muitas enzimas, como descarboxilases, hidrolases e transferidoras de grupos (fosfoquinases e fosfotransferase). Participa da reação de fotólise da água no fotossistema II, da formação de clorofila e da formação, multiplicação e funcionamento dos cloroplastos.

A disponibilidade de manganês para as plantas é altamente dependente do pH do solo, fazendo com que o aumento do pH pela calagem diminua o teor do nutriente, com aparecimento dos sintomas de deficiência nas folhas. Apesar da influência direta do pH na disponibilidade dos micronu-

trientes Mn, Fe, Cu e Zn, em condições de campo, o efeito na redução da disponibilidade, ocorre primeiramente com o Mn.

Sua redistribuição no floema é baixa e, por isso, os sintomas de deficiência aparecem, inicialmente, nas partes novas da planta.

Observações:

(1) sua deficiência causa clorose em tons amarelo-esverdeados das folhas mais novas entre as nervuras e as nervuras de cor verde-escura (Figs 27, 28 e 29);

(2) Fig. 27: vista parcial de lavoura de soja com plantas deficientes;

(3) Figs 28 e 29: folhas de soja com deficiência;

(4) sua toxicidade aparece inicialmente, também em folhas jovens, caracterizado por encarquilhamento dos folíolos (Fig. 30) e pontos necróticos de coloração marrom-escura no limbo foliar (Fig. 31).



Fig.27. Deficiência de Manganês(Mn):lavoura de soja clorótica, devido ao excesso de calcário com elevação excessiva do pH do solo.



Fig.28. Deficiência de Manganês (Mn): plantas com clorose internerval, com limbo amarelo-esverdeado e nervuras verde-escuro.



Fig.29. Deficiência de Manganês(Mn): folha com clorose internerval, com limbo amarelo-esverdeado e nervuras verde-escuro.



Fig.30. Toxicidade de Manganês (Mn.). Folhas encarquilhadas com pintas marrons no limbo.



Fig. 31. Toxicidade de Manganês (Mn). Folhas encarquilhadas com pintas marrons no limbo.

4.2.5 Zinco (Zn)

É absorvido como Zn^{2+} , sendo transportado assim, no xilema. Apresenta pouca afinidade com quelantes orgânicos e, por isso, é pouco móvel na planta. Alta concentração de fósforo no substrato, diminui a absorção de Zn. Existem várias enzimas ativadas pelo Zn, como sintetase do triptofano, desidrogenase (alcoólica, glutâmica e láctica), aldolases e anidrase carbônica. Na síntese do triptofano, a ausência de Zn diminui a síntese do AIA e, por isso, as células ficam menores.

Observações:

- (1) sua deficiência diminui o nível de RNA, prejudicando a síntese das proteínas, através da RNAase que hidrolisa o RNA, causa encurtamento dos internódios, com produção de folhas pequenas, cloróticas e lanceoladas, e as folhas mais novas ficam com clorose interveinal de coloração amarela-ouro (Fig. 32) e as nervuras com cor verde-escura;
- (2) a alta concentração de fósforo no substrato diminui a absorção de Zn pelas plantas;



Fig.32. Deficiência de Zinco (Zn). Sintoma inicial nas folhas mais novas, com clorose interveinal de cor amarela-ouro.

4.2.6 Boro (B)

Na faixa de pH entre 4,0 e 8,0, ideal para a maioria das plantas, o B é absorvido como H_3BO_3 e H_2BO_3 . A função fisiológica do boro difere de qualquer outro micronutriente, pois este ânion não foi identificado em nenhum composto ou enzima específica, mas sabe-se que possui funções: na divisão celular, formação de paredes celulares, síntese de ácidos nucleicos (DNA e RNA) e de fitohormônios, no metabolismo e transporte dos carboidratos e transporte de açúcares através das membranas.

Apesar do papel do B, no metabolismo das plantas, ainda estar sujeito a consideráveis debates, sabe-se que a nutrição com o nutriente está intimamente ligada à estrutura primária da parede celular e ao funcionamento das membranas celulares. O boro é necessário, também, para a alongação e para a divisão celular, sugerindo a sua participação na síntese de RNA.

O boro desempenha papel importante no transporte e no metabolismo de carboidratos (glúcideos) no interior da planta. É necessário para a alongação e para a divisão da célula, sugerindo a sua participação na síntese do RNA.

Observações:

- (1) sua deficiência desorganiza os vasos condutores, diminui a germinação do grão de pólen e o crescimento do tubo polínico; devido à pouca mobilidade na planta, os sintomas de deficiência (Fig. 33) se manifestam primeiramente nos tecidos jovens e recém formados;
- (2) outro sintoma de deficiência de B é o superbrotamento (Fig. 34), por morte da gema apical;
- (3) a toxicidade de B caracteriza-se pelo aparecimento de manchas pardas nos bordos das folhas, progredindo para a necrose das margens e pontuações internervais, o encarquilhamento das folhas mais velhas, encurtando os internódios e causando a morte da gema apical (Fig. 35).



Fig.33. Deficiência de Boro(B). Folhas novas encarquilhadas com morte da gema apical.



Fig.34. Deficiência de Boro(B). Superbrotamento.



Fig.35. Toxicidade de Boro(B). Necrose nas bordas das folhas.

4.2.7 Molibdênio (Mo)

Quando o pH do meio é igual ou maior que 5,0, o Mo é absorvido predominantemente como MoO_4^{2-} . A nitrogenase também contém Mo e é necessária para fixação simbiótica do N_2 . A participação do Mo como cofator nas enzimas nitrogenase, redutase do nitrato e oxidase do sulfeto, está intimamente relacionada com o transporte de elétrons durante as reações bioquímicas.

A redução do nitrato a nitrito é catalizada pela enzima adaptativa redutase do nitrato, que requer a presença de flavina (NAD) e Mo, durante a reação.

Os sintomas de deficiência aparecem nas folhas mais velhas, pois ele é móvel na planta.

Observações:

- (1) a nitrogenase também contém Mo e é a enzima necessária para a fixação simbiótica do N_2 ;
- (2) os sintomas de desordens nutricionais, em plantas cultivadas em solos deficientes ou ácidos, caracterizam-se por plantas amareladas e folhas jovens retorcidas, com manchas necróticas nas margens dos folíolos (Fig. 04);
- (3) apresenta, ainda, sintomas semelhantes à deficiência de nitrogênio, induzida pela deficiência de molibdênio, que causam a clorose total das folhas mais velhas (Fig. 03) ou de meia idade fisiológica, seguida de necrose, como conseqüência da inibição da atividade da nitrato redutase e subsequente acúmulo de nitrato.

4.2.8 Cloro (Cl)

O cloro é absorvido como Cl^- e não entra na constituição de compostos orgânicos das plantas superiores. Sabe-se que é necessário para a operação de fotólise da água, ou seja, no fotossistema II. É transportador de elétrons, reduzindo oxidantes durante a fase luminosa da fotossíntese.

A deficiência de cloro raramente ocorre, por ser ele um elemento presente em todos os ambientes. Mas, quando ocorre, a deficiência de Cl ocasiona a redução drástica no peso seco das plantas e no tamanho das folhas, ocorrendo também uma clorose internerval nas folhas maduras e o murchamento das folhas.

A toxicidade de Cl é muito mais comum do que a deficiência, com inúmeros casos relatados na literatura, especialmente quando grande quantidade de cloreto de potássio é aplicado como adubo em solos ácidos. A aplicação de calcário para corrigir a acidez do solo reduz e elimina este efeito tóxico do cloro. Os sintomas são conhecidos como “Queima Foliar da Soja”.

4.2.9 Níquel (Ni)

Em 1973, foi encontrado que a adição de Ni aumentou o peso de nódulos e de grãos de soja [Bertrand & De Wolf (1973), citados por Schrader & Briskin (1989)]. Polaco & Havir (1979), citados por Schrader & Briskin (1989), observaram que a urease dos grãos de soja é uma metaloenzima contendo níquel e que a soja, crescendo em solução nutritiva deficiente em Ni, acumula níveis tóxicos de uréia nas folhas [Eskew et al. (1984), citados por Sfredo e Carrão-Panizzi (1990)].

Winkler et al. (1983), citados por Schrader & Briskin (1979), destacam que a urease é uma enzima com Ni e, embora o metal não seja necessário para a síntese da urease, é essencial para a estrutura e o apropriado funcionamento da enzima.

5

Resultados de Pesquisa

A maioria dos solos brasileiros apresentam baixos teores de fósforo. No caso do potássio, solos de origem basáltica, geralmente, possuem altos teores desse elemento.

Entretanto, o cultivo da soja está sendo efetuado mais na região do Cerrado brasileiro, onde 95% dos solos são originários de arenito e têm baixo teor de potássio.

Devido a isso, há necessidade de se adicionar esses nutrientes, na maioria das vezes, em quantidades elevadas.

As pesquisas foram desenvolvidas, até recentemente, com fósforo e potássio que eram os nutrientes mais carentes e, basicamente, os mais exigidos pelas plantas em geral. Após anos de resultados de pesquisa com esses nutrientes, os níveis críticos e as doses equivalentes a se aplicar foram estabelecidos, montando-se as diversas recomendações por região ou por estado, para as diversas culturas que compõe os sistemas de produção, no Brasil.

Mais recentemente, como já era previsto, mesmo em solos com boas reservas de outros nutrientes (S e micronutrientes), as deficiências começaram a aparecer e, com isso, a pesquisa iniciou vários estudos. Os resultados obtidos já geraram novas recomendações, para reposição desses nutrientes na cultura da soja.

5.1. Fósforo

5.1.1. Solos de cultivo recente

Em solos de exploração recente, ou com baixos teores de fósforo disponível, as deficiências se manifestam, principalmente, através da baixa produtividade, do reduzido porte das plantas e da pequena altura de inserção das primeiras vagens. Trabalhos de pesquisa realizados por vários anos, evidenciaram que, à medida que se fornece doses crescentes de P_2O_5 , aumenta a altura de planta, a altura de inserção da primeira vagem e a produtividade.

Portanto, a adubação fosfatada para a soja, em solos de baixa fertilidade natural e com baixo teor de fósforo residual das adubações de culturas anteriores, tem se revelado uma prática de valor no incremento da produtividade (Fig.36) e dos parâmetros altura de planta e altura da inserção da 1ª vagem (Fig. 37).

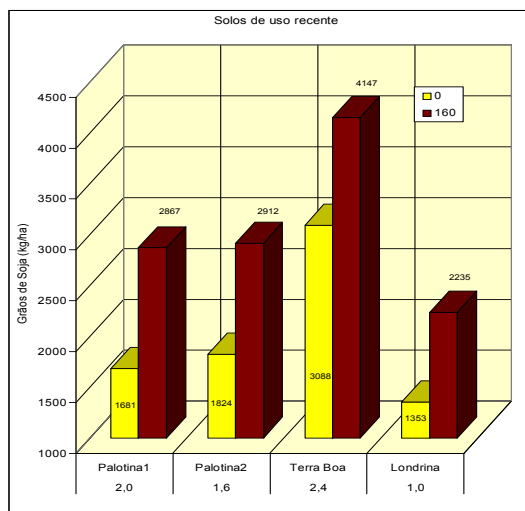


Fig. 36. Produção de grãos de soja, em função da aplicação de fósforo, em quatro locais do Paraná, em solos com teores de P considerados baixos.

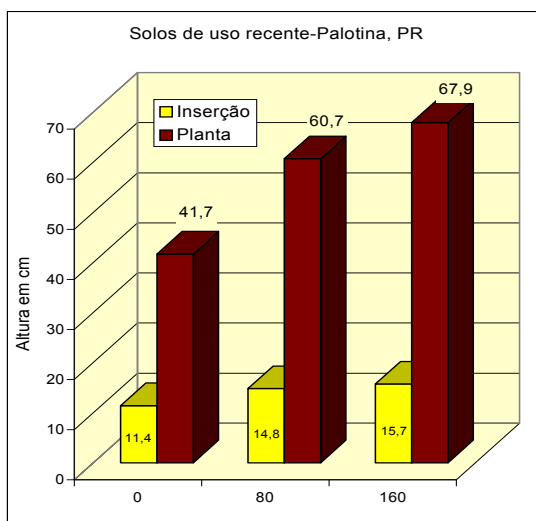


Fig. 37. Altura e inserção da 1ª vagem da planta de soja em função de doses de P_2O_5 (kg/ha)

5.1.2 Solos de cultivo antigo

Já os solos cultivados com soja e adubados por mais de três anos, têm acumulado fósforo, que não aparece na análise, de tal modo que a planta, com a sua capacidade de aproveitamento, permite, em muitos casos, reduções consideráveis nos gastos com fertilizantes fosfatados. Muitas vezes, a situação de ausência de resposta a P, comprova que algumas formas de P, no solo, não são detectadas pelo extrator químico de solo (Mehlich-1) e reforça a idéia de se complementar a análise de solo com outras informações relacionadas com o histórico da área e com a Diagnose Foliar.

No Paraná, a Embrapa Soja, com trabalhos de pesquisa em seis locais, detectou essa falta de resposta a fósforo, em solos com mais de três anos de cultivo, com adubações fosfatadas (Fig. 38).

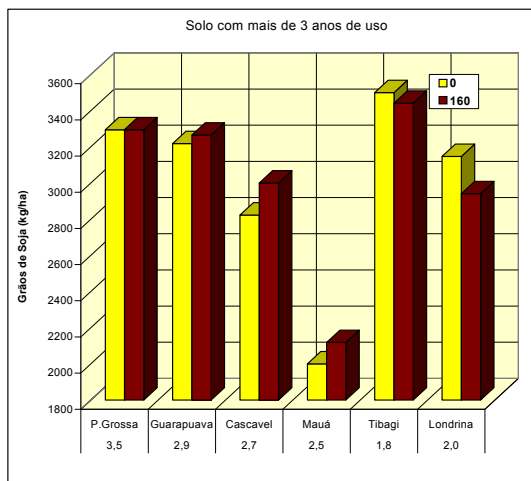


Fig.38. Falta de resposta à adubação fosfatada mesmo em solos com baixos teores de P em seis locais do Paraná.

Mascarenhas et al., 1981, estudando o efeito residual de fertilizantes aplicados na sucessão soja-trigo, em latossolo roxo eutrófico de São Paulo, evidenciaram a falta de resposta à aplicação de fertilizantes para a soja (Fig. 39).

Conforme Lantmann et al., 1996, a soja é capaz de apresentar bons rendimentos, em condições de baixa ou nenhuma adubação, desde que a fertilidade do solo esteja em níveis acima dos considerados críticos. Além disso, a soja, segundo a literatura citada, tem habilidade para aproveitar o efeito residual das fertilizações de anos anteriores.

No presente trabalho, conforme é mostrado na Tabela 5, é possível evidenciar os efeitos da fertilidade inicial, da residual proveniente das adubações para o trigo e das fertilizações praticadas para a soja, sobre os rendimentos da soja, cultivar BR-16, durante os sete anos da sucessão.

No primeiro ano de experimentação (1990), não houve resposta a nenhum dos tratamentos, evidenciando que a fertilidade inicial do solo era suficiente para promover os melhores rendimentos.

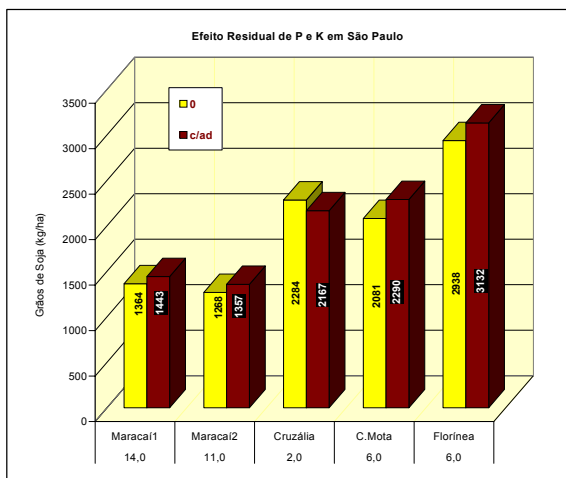


Fig.39. Falta de resposta à adubação fosfatada e potássica mesmo em solos e cinco locais de São Paulo.

Em 1991, foi observada uma resposta pequena à fertilização com P. Os rendimentos foram semelhantes quando se adubou com P_2O_5 exclusivamente para o trigo (3.264 kg/ha), comparado àqueles obtidos quando se adubou, também com P_2O_5 , para a soja (3.118 kg/ha).

No terceiro ano da sucessão (1992), após dois anos de cultivos de soja e trigo, a soja ainda apresentou resposta pequena à fertilização fosfatada, sem que os rendimentos obtidos pela soja, nos tratamentos com adubação fosfatada exclusivamente para o trigo, fossem diferentes daqueles obtidos quando se adubou com P_2O_5 também para o cultivo da soja.

A partir do quarto ano da sucessão (1993), a soja começou a apresentar respostas também ao K, proveniente da adubação aplicada para o trigo, e em proporção semelhante à resposta obtida quando foi aplicado o K_2O , também para o cultivo da soja.

TABELA 5. Rendimento de grãos de soja, cultivar BR-16, cultivada em sucessão ao trigo, em função de adubos aplicados à soja e ao trigo, em solo Latossolo Roxo distrófico, no período de 1990 a 1996, na área experimental do Centro Nacional de Pesquisa de Soja, Londrina, PR. Embrapa Soja. Londrina, PR. 1996. Lantmann et al, 1996

| Adubação | | Anos | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------------------|-------------------------------|------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| -----Soja----- | | -----Trigo----- | | | | | | | | | |
| P ₂ O ₅ | K ₂ O | P ₂ O ₅ | K ₂ O | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 2048a ¹ | 2774b | 1935b | 2300c | 1850c | 2379c | 3727c | |
| 0 | 0 | 50 | 30 | 1804a | 3264a | 2188ab | 2865ab | 2119ab | 2697bc | 4200a | |
| 0 | 0 | 50 | 0 | 2193a | 3025ab | 2152ab | 2408bc | 2236a | 2579bc | 4057ab | |
| 0 | 0 | 0 | 30 | 2238a | 2930b | 2041b | 2409bc | 2063b | 2592bc | 3964b | |
| 30 | 0 | 50 | 30 | 2215a | 3024ab | 2121ab | 2715ab | 2175a | 3262b | 4297a | |
| 60 | 0 | 50 | 30 | 2091a | 3155a | 2138ab | 2619b | 2148ab | 3263b | 4317a | |
| 0 | 50 | 50 | 30 | 2235a | 3165a | 2163ab | 2548bc | 1924bc | 3161b | 4198a | |
| 0 | 100 | 50 | 30 | 1819a | 2932ab | 2024b | 2696b | 1874c | 3269b | 4150ab | |
| 30 | 50 | 50 | 30 | 2093a | 3118a | 2196ab | 2781ab | 2052bc | 3354ab | 4273a | |
| 60 | 100 | 50 | 30 | 2065a | 3285a | 2392a | 3091a | 2193a | 3414a | 4189a | |
| Média | | | | 2080 | 3067 | 2135 | 2643 | 2063 | 2997 | 4137 | |
| C.V. | | | | 10,47 | 8,32 | 7,85 | 9,34 | 12,43 | 7,67 | 6,54 | |

¹ Médias seguidas de mesma letra, por coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

5.1.3 Fontes de fósforo

Deve-se dar preferência a fontes solúveis, tais como superfosfato triplo, superfosfato simples, termofosfato yoorin, MAP e DAP.

No caso de adubos fosfatados, total ou parcialmente solúveis, a dose deve ser calculada levando-se em consideração os teores de P_2O_5 , solúveis em água mais citrado neutro de amônio. No caso dos termofosfatos, das escórias ou dos fosfatos naturais em pó, as quantidades devem ser calculadas levando-se em consideração os teores de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2%, relação 1/100. No caso do fosfato natural de Gafsa em pó (fosfato importado da África), os dados de pesquisa indicam que a eficiência agrônômica deste produto corresponde, aproximadamente, ao dobro da solubilidade expressa em ácido cítrico a 2%, relação 1/100.

O grupo de fertilizantes organo-minerais provém da mistura de fertilizantes orgânicos e minerais e sua comercialização, no nosso mercado, é recente. Resultados de pesquisa obtidos até o presente, por várias instituições de pesquisa do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, permitem algumas considerações a respeito do assunto:

- 1) em geral, estes produtos são fontes de nutrientes para as plantas;
- 2) há indicações de que a fração orgânica destes fertilizantes não aumenta a eficiência de aproveitamento pelas plantas dos teores de NPK contidos no fertilizante, pelas quantidades normalmente recomendadas, especialmente para cultivos anuais.

Na escolha de fertilizantes fosfatados a utilizar, deve-se considerar o custo da unidade de P_2O_5 , do produto posto na propriedade, segundo os critérios mencionados acima.

Por motivos estratégicos de utilização das reservas de fosfatos nacionais, desaconselha-se o uso dos fosfato naturais brasileiros para aplicação direta na lavoura, em função da sua extrema baixa eficiência agrônômica e pelos custo de transporte, o que os inviabiliza economicamente (Fig.40).

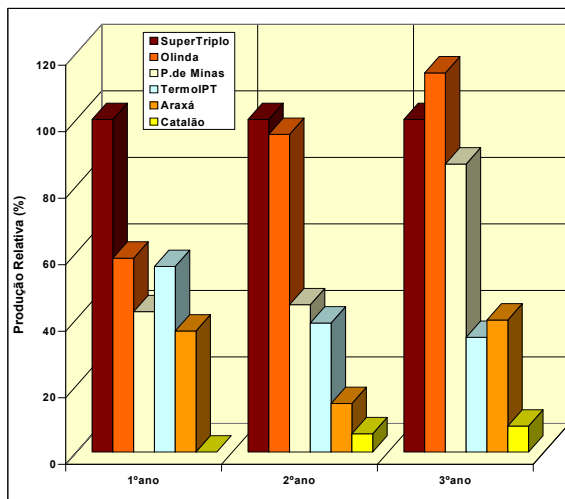


Fig.40. Eficiência Relativa de Fosfatos Naturais (%)

Já as fosforitas importadas (Gafsa, Arad, Carolina do Norte, etc.) podem ser utilizadas, principalmente, para adubações de correção de P, a lanço e incorporadas. A Tabela 6 mostra que a resposta desses fosfatos sobre a produção da soja pode ser igual ao Superfosfato Triplo.

Calcular a quantidade recomendada em função do P_2O_5 total das fontes citadas.

5.2 Potássio

Os solos do Paraná, próprios para o cultivo intensivo em seu estado natural (antes de serem cultivados), apresentavam normalmente, um suprimento adequado de potássio, conforme mostram os resultados referentes aos efeitos da adubação potássica para a cultura da soja (Fig.41). Exceção feita aos solos com baixa capacidade de troca de cátions, como grande parte dos solos arenosos situados na região Noroeste e região de Ponta Grossa, no Paraná.

TABELA 6. Rendimento de soja (kg/ha), em função de doses e fontes de fósforo. Embrapa Soja. 1999.

| P ₂ O ₅ kg/ha | Fontes de Fósforo | | | | | |
|--|------------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------|-----------------|
| | Superfosfato Triplo | Fosfato Daoui | Gantour White | Gantour Black | Fosfato Argélia | Fosfato Arad |
| 0 | 3720 | 3767 | 3713 | 3829 | 3767 | 3759 |
| 60 | 3688 | 3745 | 3747 | 3844 | 3838 | 3673 |
| 120 | 3917 | 3850 | 3753 | 3764 | 4007 | 3768 |
| 240 | 3802 | 3775 | 3923 | 3804 | 3905 | 3751 |
| Média | 3781 | 3784 | 3784 | 3810 | 3879 | 3738 |

A nível de Brasil, com exceção dos solos de Cerrado, originalmente, os solos são bem supridos de potássio, onde a resposta à aplicação desse nutriente é baixa.

Nos solos onde os teores de potássio são elevados, acima do nível crítico (0,10 cmol_c dm⁻³), é pouco provável que haja resposta à aplicação deste nutriente no solo, através de adubações, como mostra a Fig. 41, em cinco locais do Paraná, com teores variados de K. A Fig. 42 ilustra, também, a não resposta à aplicação de quatro doses de K₂O, em outros cinco locais.

Normalmente, as culturas introduzidas em solos com boa disponibilidade de potássio, não apresentam resposta à adubação potássica. Essa situação tem sido comum para a maioria das culturas no estado. Porém, com a introdução de uma agricultura mais intensiva, possibilitando a obtenção de maiores rendimentos, surgiu a limitação de produtividade por deficiência de potássio.

Este panorama gerou certa prioridade ao fósforo, através do uso das formulações do tipo 3:1, as quais fornecem, normalmente, apenas cerca de 60% do total de potássio exportado pelos grãos da soja. Muitos solos, embora apresentem teores médios e altos de K trocável, não são dotados de grande reserva natural. Isso, aliado ao uso inadequado de fertilizantes com baixo K, pode causar, ao longo dos anos, esgotamento do solo e conseqüente prejuízo para a cultura da soja.

No Estado do Paraná, foram observados visualmente, sintomas de deficiência de potássio em soja e, com muito mais frequência, foram constatados teores insuficientes de potássio foliar.

Trabalhos de pesquisa conduzidos pela Embrapa Soja na década de 1970, não evidenciavam aumentos significativos na produtividade da soja no Paraná, devido aos altos teores de potássio trocável no solo (Figs. 41 e 42). Em experimento de longa duração, com início em 1983, foi observada uma resposta crescente sobre a produção da soja à adubação potássica (Fig. 43). Esse solo, na época de instalação do trabalho citado, apresentava 0,05 g/kg de K^+ . Valor tão baixo de potássio foi atribuído ao uso contínuo, pelo agricultor, de formulação com pouco ou nenhum potássio.

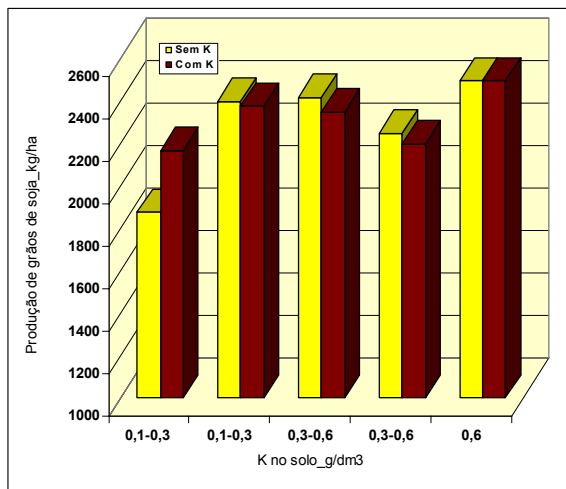


Fig.41. Produção de grãos de soja em função de teores de K no solo, com e sem adubação com K

Para comprovar a causa da deficiência, a Fig.44 ilustra o que acontece com o teor de K no solo, quando há omissão deste nutriente. Nesse experimento aplicou-se 1000 kg de K_2O (dose de 200 kg/ano durante 5 anos) e não houve adubação da safra 1988/89 até 1992/93. Há um decréscimo acentuado nos teores de K, tanto nas folhas como no solo (Figs. 44 e 45). Portanto, cuidados devem ser tomados para que não aconteça isso, pois o prejuízo à produção é evidente como se verifica na Fig.43.

Tanto a análise de solo quanto a de tecido foliar mostraram-se eficientes para auxiliar o diagnóstico da disponibilidade e absorção de potássio pela planta de soja (Figs. 44 e 45).

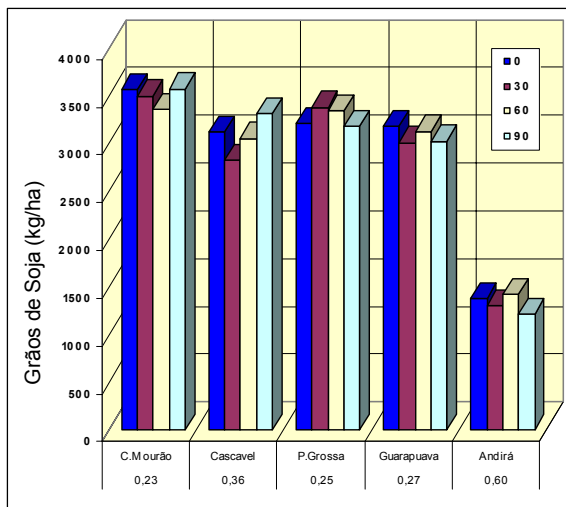


Fig.42. Resposta à aplicação de doses de potássio em cinco locais do Paraná, em solos com vários níveis de K

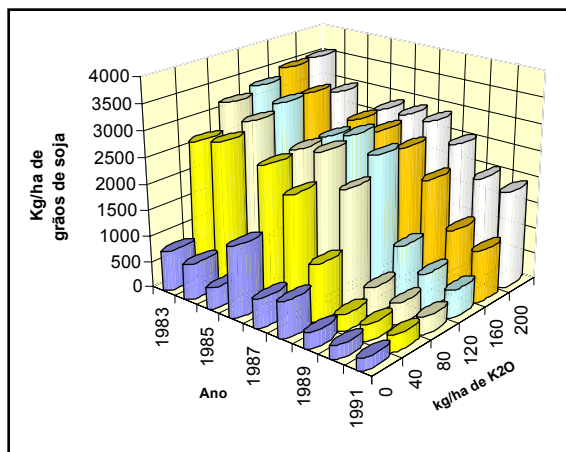


Fig.43. Produção de grãos de soja (kg/ha), em função de doses de K_2O em nove anos, em Mauá da Serra, PR.

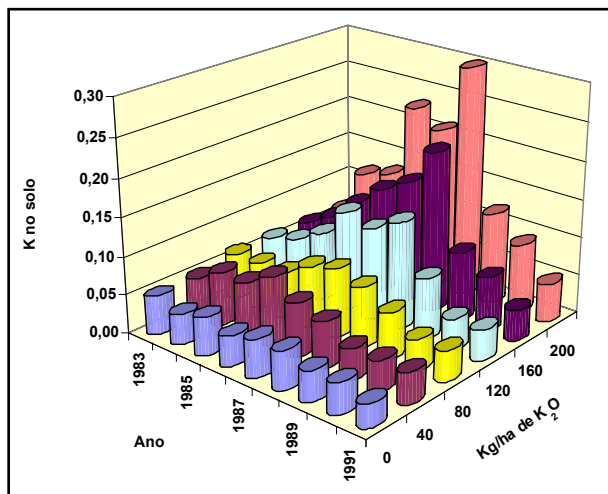


Fig.44. Teor de K no solo mg/dm³, em função de 6 doses de K₂O, em nove anos, em Mauá da Serra, PR.

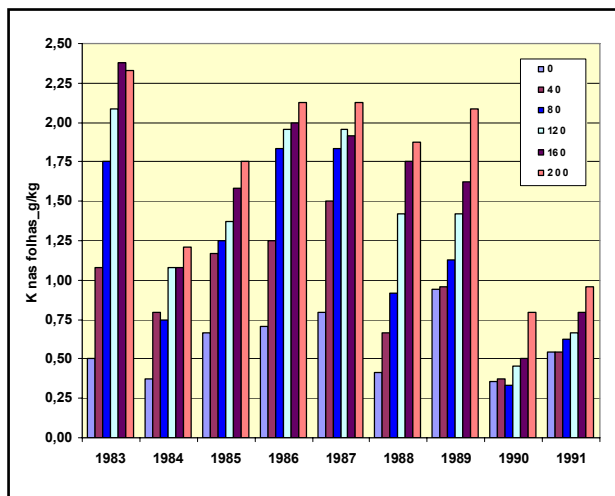


Fig.45. Teor de K nas folhas da soja em g/kg em Mauá da Serra, PR, em nove anos de cultivo.

5.3. Enxofre

Outro nutriente importante para a soja é o enxofre (S). A principal função do S nas plantas é estrutural, na composição de alguns aminoácidos (cisteína, cistina, metionina, taurina) e, devido a isto, está presente em todas as proteínas vegetais, inclusive enzimáticas. Também, de forma indireta, esta envolvido na formação da clorofila.

O enxofre inorgânico – a forma disponível para as plantas – ocorre na forma de ânion sulfato (SO_4^{-2}). Em decorrência de sua carga negativa, o SO_4^{-2} não é atraído para as superfícies da argila do solo e da matéria orgânica, exceto sob certas condições de acidez. Ele permanece na solução do solo, movimentando-se com a água do solo e, assim, é prontamente lixiviado. Certos solos acumulam SO_4^{-2} no subsolo, onde há maior quantidade de cargas positivas, disponibilizando o nutriente para culturas com sistema radicular mais profundo.

Em regiões áridas, os sulfatos de cálcio, de magnésio, de potássio e de sódio, são as formas predominantes de enxofre inorgânico.

Nas regiões úmidas, a maior parte do enxofre do solo está associada com a matéria orgânica. Através de transformações biológicas, semelhantes àquelas do nitrogênio, os sulfatos e os compostos de sulfato são produzidos e disponibilizados para as plantas, através da mineralização da matéria orgânica.

O manejo adequado dos solos assegura o uso eficiente do enxofre, reduzindo as perdas por erosão e lixiviação.

A freqüência em ocorrer deficiências de enxofre nos solos cultivados é crescente. Existem vários fatores que contribuem para isso, entre os quais:

- ▶ Aumento na produção das culturas que removem grandes quantidades de enxofre;
- ▶ Aumento no uso de fertilizantes de alta concentração, que contêm pouco ou nenhum enxofre acidental;

- ▶ Menor uso de pesticidas contendo enxofre;
- ▶ Imobilização de enxofre na matéria orgânica, que é acumulada em decorrência das práticas conservacionistas (semeadura direta, cultivo mínimo etc.);
- ▶ Maior preocupação quanto às necessidades de enxofre para produções lucrativas e qualidade dos produtos.

Até a década de 1980, a cultura da soja apresentou pouca resposta ao enxofre. Lantmann et al., (1982), testaram níveis de enxofre na cultura da soja, em seis localidades do Paraná, e não foram observadas respostas da cultura ao nutriente. Esse resultado foi atribuído aos níveis elevados de matéria orgânica, que é uma importante fonte de enxofre.

Já, nas duas últimas décadas, Sfredo et al., 2003, encontraram respostas positivas da aplicação de S sobre a produtividade da soja, em vários solos do Brasil (Tabela 7).

Os altos rendimentos de soja observados, foram alcançados com suprimento de S, via adubo. Experimentos conduzidos pela Embrapa Soja, revelam aumentos significativos, em resposta à aplicação de quantidades entre 25 a 75 kg/ha de S, nos solos.

TABELA 7. Produção de grãos de soja (kg/ha), observada em vários anos, em função de doses de enxofre, aplicadas no 1º ano (1998/99), em quatro locais, no Brasil.

| Doses De S kg/ha | Sambaíba MA 4 anos ¹ | Rondonópolis MT 3 anos ² | Londrina PR 5 anos ³ | P.Grossa PR 5 anos ³ | Média |
|------------------------|------------------------------------|--|------------------------------------|------------------------------------|---------------|
| 0 | 3092 b | 2726 d | 3090 c | 2779 bc | 2922 c |
| 25 | 3225ab | 2842 cd | 3169 bc | 2946a | 3045 b |
| 50 | 3169ab | 2908 bc | 3350a | 2897ab | 3081ab |
| 75 | 3220ab | 3269a | 3260ab | 2806abc | 3139a |
| 100 | 3313a | 3004 b | 3216abc | 2726 c | 3065ab |
| Grap-520-Foliar | 3176ab | 3107ab | 3157 bc | 3017a | 3115a |
| C.V. | | | 3,51% | | |

¹ 1998/99 a 2001/02

² 1999/00 a 2001/02

³ 1998/99 a 2002/03

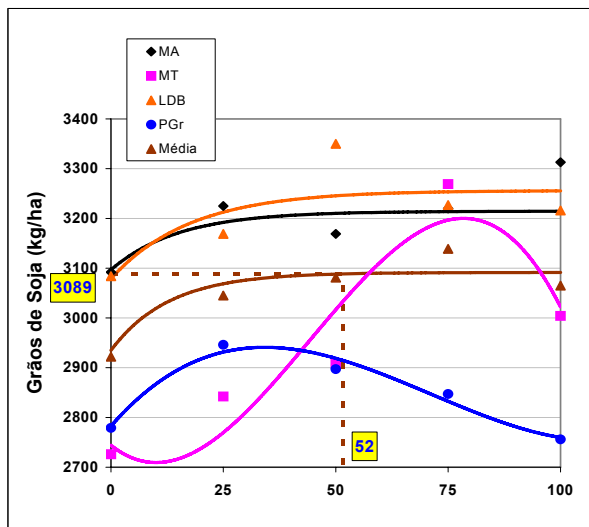


Fig. 46. Produção de grãos de soja em função de doses de S (kg/ha), no Brasil. Média de safras e Locais.

Visando um estudo mais aprofundado, iniciou-se, em 1998/99, trabalhos de pesquisa com S, em vários locais do país. Os resultados indicam que houve resposta da aplicação de S sobre a produtividade da soja, na média de anos, nos quatro locais estudados (Tabela 7)

Na média dos anos, aplicou-se a equação de Mitscherlich, entre doses e produção de grãos, com pontos de máxima produção (3.089 kg/ha), com a dose de 52 kg/ha. Isso mostra que há resposta à aplicação de S, na média dos anos e dos locais, apesar da pouca resposta em algum ano e/ou local (Tabela 7 e Fig.46).

A produção (3.115 kg/ha), conseguida com a adubação foliar de S, foi igual à melhor dose de S aplicada ao solo, mostrando ser uma alternativa viável, quando houver deficiência deste nutriente.

No Piauí, safra 2002/03, verificou-se grande resposta da soja à aplicação de S, com a obtenção de produtividades máximas de 3.701 kg ha⁻¹, com

a dose de 120 kg ha⁻¹ de S para superfosfato simples (SFS), 3.409 kg ha⁻¹ com 100 kg ha⁻¹ de S para enxofre elementar (Selem) e com 3.430 kg ha⁻¹ com 69 kg ha⁻¹ de S para Gesso agrícola. Considerando-se a média das três fontes, houve resposta na produção até a dose de 91 kg ha⁻¹ de S, com produtividade máxima de 3.419 kg ha⁻¹ (Tabela 8 e Fig.47).

Baseando-se nas curvas de respostas obtidas, estabeleceram-se os níveis críticos de S no solo (NC). No Paraná, em solos com teor de argila >40%, os NC foram de 10 e 35 mg dm⁻³ e, no Cerrado, solos com teor de argila <40%, de 3 e 9 mg dm⁻³, respectivamente para as profundidades de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm (Fig.48 e 49).

Esses resultados geraram uma tabela com a 2ª Aproximação da recomendação de adubação com enxofre para a soja, que pode ser utilizada em todo o País (Tabela 30).

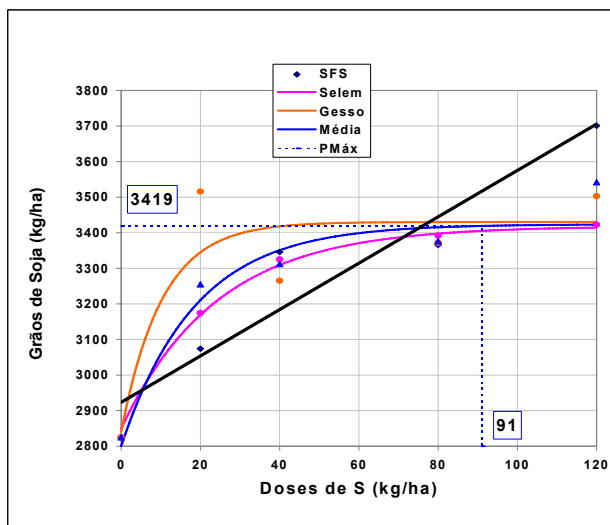


Fig.47. Produção de grãos de soja em função de doses de S de três fontes. Bom Jesus, PI. Safra 2002/03.

TABELA 8. Produção de grãos de soja (kg/ha), em função de doses e fontes de enxofre, aplicadas no 1º ano. Bom Jesus, PI. Safra 2002/03.

| Doses de S | Fontes de S | | | |
|------------------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|
| | SFS | Selem | Gesso | Média |
| | -----kg/ha----- | | | |
| 0 | 2825 d | 2825 c | 2825 c | 2825 c |
| 20 | 3074 c | 3174 b | 3516 a | 3255 b |
| 40 | 3346 b | 3325 ab | 3265 b | 3312 b |
| 80 | 3366 b | 3392 ab | 3372 ab | 3376 b |
| 120 | 3701 a | 3423 a | 3503 a | 3542 a |
| 240 | ----- | ----- | 3819 | ----- |
| Grap-520-Foliar | 2930 cd | 2888 c | 2909 c | 2909 c |
| C.V. | | 4,44 % | | |

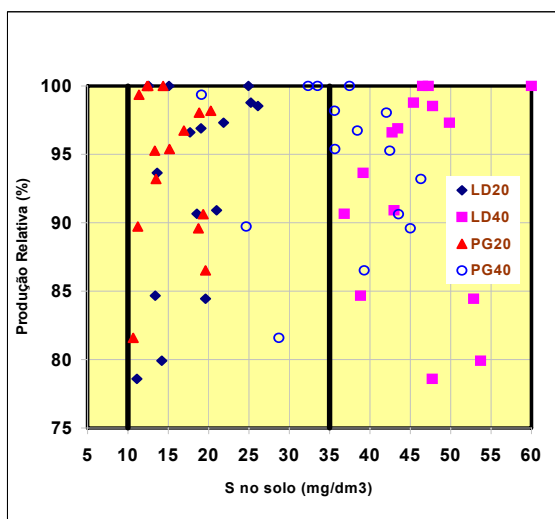


Fig.48. Níveis Críticos de S no solo(mg dm³), em Londrina (LD) e Ponta Grossa (PG) a duas profundidades, média de 3 anos.

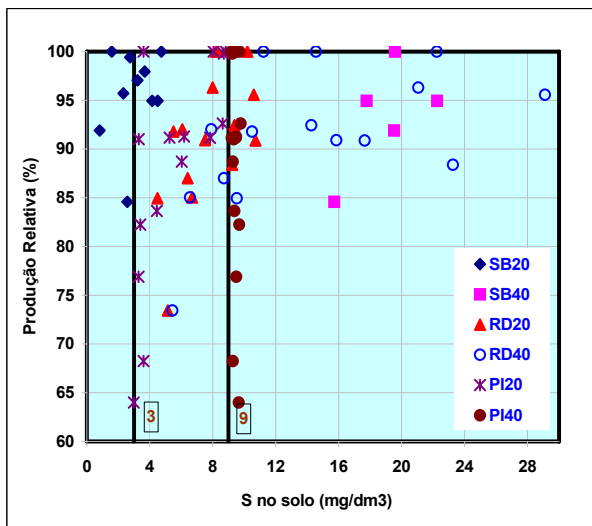


Fig.49. Níveis Críticos de S no solo (mg dm³), em solos de Cerrado a duas profundidades, média de 3 anos.

5.4 Micronutrientes

Os micronutrientes, devido à baixa necessidade pelas plantas, são os elementos menos estudados pela pesquisa. Com o aumento do potencial genético, para produtividade de várias culturas, as reservas desses nutrientes, no solo, foram se extinguindo e, assim, os mesmos estão sendo aplicados ao solo para que as produtividades não sejam prejudicadas. Entretanto, como não haviam critérios corretos para avaliar e quantificar a sua aplicação, vinha ocorrendo excesso ou falta desses nutrientes para as plantas.

Originalmente, os solos da região Sul do Brasil são bem supridos em micronutrientes, exceção feita para solos de textura arenosa, situados na região Noroeste e região de Ponta Grossa, no Paraná, e alguns solos do Rio Grande do Sul.

Assim, os problemas com micronutrientes poderão ocorrer por indução, ou seja: o excesso de adubação fosfatada promovendo deficiências de zinco e de manganês; a calagem pesada insolubilizando formas de zinco e de manganês; a calagem, em quantidade sub-estimada ou mal incorporada, comprometendo a disponibilidade de molibdênio e, baixos níveis de matéria orgânica no solo, induzindo às deficiências de zinco, molibdênio e cobre.

Contrariamente, nos solos do Cerrado a deficiência de micronutrientes aparece já no primeiro cultivo, devido à pouca reserva desses nutrientes nestes solos. Nesse caso, a aplicação de micronutrientes se faz necessária, desde o início de cultivos nesses solos.

Análises de solo e de tecido foliar, efetuadas na Embrapa Soja, em algumas regiões do Paraná, demonstraram já haver deficiência de cobre e de manganês, devido ao excesso de calcário e sua má incorporação. Isso deve estar ocorrendo em todas as regiões do Brasil, onde não haviam problemas com deficiência de micronutrientes.

Na região de solos de Cerrado, originalmente já existe deficiência de micronutrientes, principalmente zinco e boro. Entretanto, mais recentemente já há deficiência em cobre e manganês, provavelmente devido ao excesso e à má incorporação de calcário. Por isso, para micronutrientes, deve-se fazer um acompanhamento através de análise foliar e de solo e, caso ocorram deficiências, aplicar os elementos via solo, via foliar (Co, Mo e Mn) ou via semente (Co e Mo), dependendo do nível de deficiência.

5.4.1 Molibdênio (Mo) e Cobalto (Co)

Trabalhos realizados pelo CNPSo revelaram resposta da soja à aplicação de molibdênio, via semente, em função da ausência de calcário, quando os solos apresentavam acidez (pH abaixo de 5,4, em água, ou 4,8, em CaCl_2) (Lantmann et al., 1985).

Entretanto, em trabalho realizado no CNPSo, a partir da safra 1992/93, obteve-se respostas a alguns produtos comerciais contendo Mo e Co, aplicados via semente, mesmo em pH acima de 5,3 em CaCl_2 . Provavelmente, isso aconteceu devido ao maior potencial produtivo da soja, quando comparado com cultivares utilizados em anos anteriores e à falta de reposição dos nutrientes extraídos pelas plantas, nas quantidades exigidas.

Conforme os resultados alcançados, verifica-se que a aplicação de Mo influenciou positivamente no aumento da produtividade de grãos da soja e no aumento da percentagem de proteína nos grãos, nos testes realizados em vários anos e locais, no Brasil (Tabelas 9 e Figura 50). É mostrado um resumo destes resultados, onde se utilizou os tratamentos extremos, ou seja, sem Mo e o tratamento com máxima produtividade e a média de todos os tratamentos onde se aplicou Mo, via semente.

Nota-se que houve um acréscimo de 36% na média dos três anos, em Londrina, PR, e, na safra 1994/95, 53% em Medianeira, PR, 29% em Ponta Grossa, PR e 30% em Sambaíba, MA, com um acréscimo médio nesses três últimos locais de 29% na produtividade de grãos de soja. Considerando os três anos em Londrina e os três locais, na safra 1994/95, houve um acréscimo de 20% na produção de grãos, na média de todos os tratamentos contendo Mo e de 33% na média do melhor tratamento com Mo (Tabela 9).

O molibdênio, além de auxiliar na fixação simbiótica do nitrogênio, também atua na redução do nitrato, na planta, o que possibilita maior transporte de N para as partes reprodutivas, circunstância que pode aumentar a produtividade em até 20% e o teor de proteína nos grãos em até 6% (Sfredo et al., 1997). (Tabela 9 e Figura 50).

TABELA 9. Produção de grãos de soja (kg/ha e %), em Londrina(PR) e safra 1994/95 em Medianeira(PR), Ponta Grossa(PR) e Sambaíba(MA), em função de tratamentos com e sem Mo, aplicados via semente. Embrapa Soja, Londrina, PR.

| Local | Ano | Sem Mo | Com Mo ¹ | Com Mo ² |
|--------------------|---------|------------------|---------------------|---------------------|
| Londrina | 1992/93 | 3117(100) | 3465(111) | 3597(115) |
| | 1993/94 | 2668(100) | 3740(140) | 3916(147) |
| | 1994/95 | 2750(100) | 3650(133) | 4103(149) |
| | Média | 2845(100) | 3618(127) | 3872(136) |
| Medianeira | 1994/95 | 2075(100) | 2783(134) | 3175(153) |
| Ponta Grossa | 1994/95 | 2088(100) | 2384(114) | 2700(129) |
| Balsas | 1994/95 | 2792(100) | 3103(111) | 3643(130) |
| | Média | 2450(100) | 2757(113) | 3173(129) |
| Média Geral | | 2648(100) | 3188(120) | 3523(133) |

¹ Médias de todos os tratamentos com Mo aplicados via semente.

² Médias do melhor tratamento, aplicado via semente.

Sfredo et al., 1997

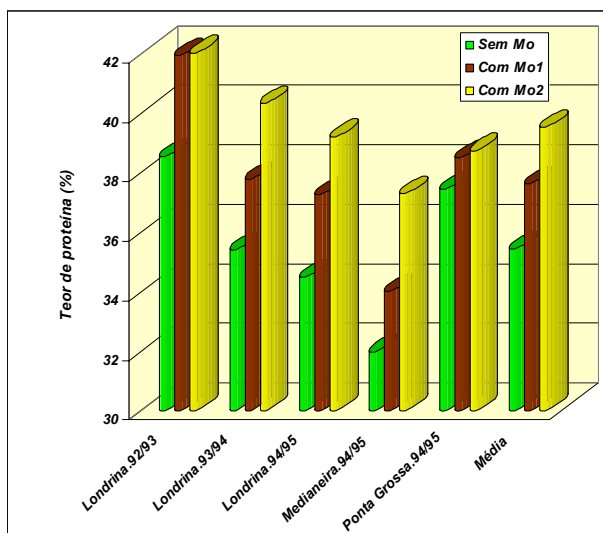


Fig.50. Teor de proteína (%) em função de tratamentos sem Mo, Mo1 (média de todos os tratamentos com Mo) e Mo2 (média do melhor tratamento com Mo), em vários locais e safras. Londrina, PR, 2004.

5.4.2 Zinco (Zn)

A cultura da soja tem apresentado pouca resposta à adubação com zinco (Zn), nas áreas tradicionais de cultivo da região Sul do País.

Em estudos sobre a disponibilidade de micronutrientes, a aplicação e a resposta das culturas de milho, trigo e soja, em semeadura direta, na região dos Campos Gerais, Ponta Grossa, Pauletti (1999) observou sintomas de deficiência de zinco e de manganês, nas fases iniciais do desenvolvimento vegetativo das culturas. Porém, só foi observada resposta a zinco em milho, não havendo resposta à aplicação de manganês, cobre e boro, na sucessão de culturas trigo/soja/milho, em semeadura direta.

Segundo estudos de fertilidade do solo em experimentos de rotação de culturas de longa duração, Mitchell et al (2005), não observaram resposta a zinco, em um período de dez anos.

Com a expansão da soja no Estado do Paraná, passou-se para o cultivo em solos de textura média a arenosa, com teores de argila inferiores a 200 g.kg⁻¹, CTC baixa e, originalmente, com menor disponibilidade de Zn.

No decorrer dos anos, a elevação do Zn-trocável (Zn²⁺) nesses solos é consequência da adubação em quantidades superiores ao exportado pela soja, da reaplicação anual de Zn presente nas fórmulas de adubo e associada como contaminante, no calcário e no adubo fosfatado aplicado.

Borkert (2002) relatou não ter encontrado resposta à adubação com zinco, em quatro anos de cultivo de soja e trigo.

Como a solubilidade do Zn, no solo, depende do seu estado de oxidação, sua imobilização está associada à elevação do pH, pela calagem. Portanto, a reaplicação anual de Zn para o aumento da disponibilidade desse nutriente nesses solos, com o passar dos anos pode levar a teores excessivamente elevados, criando problemas de fitotoxicidade para as plantas. Quando a adição de micronutrientes é feita em pequenas quantidades, sem nenhum parâmetro para sua aplicação, pode representar um custo desnecessário e, também, induzir a excessos nesses solos.

Os limites para a interpretação da disponibilidade de zinco trocável nas análises de solo eram de 1,1 a 1,6 mg.dm⁻³ de Zn²⁺, valor muito baixo se comparado aos teores normalmente encontrados na maioria dos solos do Paraná, originários de rochas que contém altos teores de Zn.

Atualmente, pela recomendação para a soja, o teor crítico de Zn no solo é de 1,6 e 1,2 mg.dm⁻³ de solo, para os dois métodos: Mehlich e DTPA, respectivamente (Correção...,2006), os quais têm mostrado serem muito baixos, com base nos resultados obtidos neste trabalho.

Pelos resultados obtidos, no Paraná, houve correlação e os níveis críticos estimados de Zn no solo, ficaram em 1,5 e 1,1 mg dm⁻³, respectivamente para os métodos Mehlich e DTPA (Borkert et al, 2006b)

Portanto, as faixas de Zn²⁺ no solo, em mg.dm⁻³, para interpretação dos níveis do nutriente, no Estado do Paraná, a partir de 2007, são: para o Método Mehlich-1: Baixo <0,8; Médio 0,8 a 1,5; Alto >1,5; para o Método DTPA: Baixo <0,5; Médio 0,5 a 1,1; Alto >1,1 (Tabela 31). Para solos de Cerrado, utilizar a Tabela 32.

5.4.3. Manganês (Mn)

A adição de micronutrientes, como o manganês (Mn), esporadicamente em pequenas quantidades, pode representar um custo desnecessário quando o solo é bem suprido, podendo induzir a excessos e toxicidades, nesses casos. Entretanto, quando esse nutriente é aplicado com base nas quantidades exigidas pelas culturas e pela análise do solo, sua aplicação, provavelmente, será mais racional.

Com o uso da diagnose foliar, tem sido obtida uma melhor estimativa da necessidade de reposição dos nutrientes, visando aumento da produtividade. No entanto, a análise foliar deve ser feita na floração e, com isso, dificilmente as deficiências serão corrigidas na mesma safra, servindo apenas como um indicativo de que a planta não absorveu o nutriente, situação que necessita ser corrigida para o próximo cultivo. Por isso, deve-se

fazer a análise do solo que dá uma indicação se os teores de Mn estão em níveis considerados adequados.

A disponibilidade de Mn-trocável (Mn^{2+}) é dependente do estado de oxidação em que se encontra o Mn, no solo, de microorganismos presentes no solo que podem, temporariamente, imobilizar o Mn e está associada à elevação do pH pela calagem. Por isso, cuidados devem ser tomados para não ocorrer a mesma situação dos solos do Cerrado, onde o excesso e a má incorporação do calcário têm provocado sérias deficiências de Mn. Com isso, têm sido necessárias aplicações foliares de Mn para suprir a necessidade da soja por esse nutriente.

Um fato novo, surgido recentemente, é a possível deficiência de Mn em plantas de soja geneticamente modificadas (soja RR). Provavelmente, a deficiência deve estar ocorrendo onde há baixos teores de Mn no solo e o pH e a saturação de bases (V%) com valores muito altos, provocando, assim, a insolubilização do Mn e impedindo sua absorção pelas plantas de soja. Por isso, é provável que, em solos onde a reserva de Mn é alta, não haverá deficiência do mesmo.

Atualmente, pela recomendação para soja, o teor crítico de Mn, no solo, é de 5 mg.dm^{-3} de solo, para os dois métodos utilizados (Correção...,2006), o qual tem mostrado ser muito baixo, com base nos resultados obtidos neste trabalho. Segundo os resultados, houve correlação e os níveis críticos estimados de Mn no solo, para o Paraná, foram 30 e 5 mg.dm^{-3} , respectivamente, para os métodos Mehlich-1 e DTPA, acima dos quais não deve haver resposta à aplicação de Mn (Sfredo et al, 2006c).

Portanto, as faixas de Mn^{2+} no solo em mg.dm^{-3} , para interpretação dos níveis do nutriente no solo, no Estado do Paraná, são: para o Método Mehlich-1: Baixo <15; Médio 16 a 30; Alto >30; para o Método DTPA: Baixo <1,2; Médio 1,3 a 5,0; Alto >5,0 (Tabela 31). Para solos de Cerrado, utilizar a Tabela 32.

5.4.4 Cobre (Cu)

A soja não tem apresentado resposta à adubação com cobre (Cu), nas áreas tradicionais do Sul do Brasil. Isso pode ser atribuído à elevada disponibilidade de Cu, nos solos argilosos originados de rochas eruptivas básicas.

Borkert (2002) não obteve resposta à adubação com cobre, em quatro anos de cultivo de soja, em dois solos do Paraná, um de textura argilosa e outro de textura média. Porém, com a expansão da soja no Estado do Paraná, passou-se para o cultivo em solos de textura média a arenosa, com teores de argila inferiores a 200 g.kg⁻¹, CTC baixa e, originalmente, com baixo teor de Cu.

Com o passar dos anos, a reaplicação anual de Cu pode elevar os seus teores, criando problemas de fitotoxicidade para as plantas.

Os limites para a interpretação da disponibilidade de Cu-trocável, nas análises de solo, estão entre 0,5 a 0,8 mg.dm⁻³, valores muito baixos se comparados ao teor encontrado, normalmente, na maioria dos solos do Paraná (Correção...,2006).

Nos últimos anos, a análise foliar tem sido utilizada para a avaliação da disponibilidade dos nutrientes limitantes para as plantas, oferecendo, assim, uma nova ferramenta para aprimorar a recomendação da adubação, aumentando a probabilidade de incremento da produtividade. Porém, como a análise foliar deve ser feita na floração, dificilmente será possível corrigir as deficiências encontradas naquela mesma safra. Assim, uma das alternativas ainda é a análise de solo, efetuada antes da implantação da lavoura. Portanto, com a necessidade da determinação dos níveis críticos desse micronutriente nos solos, pesquisas foram iniciadas na década de 1990.

Atualmente, pela recomendação para a soja, o teor crítico de Cu no solo é de 0,8 mg.dm⁻³ de solo para os dois métodos utilizados (Correção...,2006), o qual tem mostrado ser muito baixo, com base nos resultados obtidos neste trabalho.

Os resultados obtidos, nos últimos anos de pesquisa, mostraram que os valores estimados, acima dos quais não é esperada resposta à aplicação de cobre, são de $1,7 \text{ mg.dm}^{-3}$ e $1,1 \text{ mg.dm}^{-3}$ de Cu^{2+} , pelos métodos Mehlich e DTPA, respectivamente (Borkert et al, 2006c).

Portanto, as faixas de Cu no solo em mg.dm^{-3} , para interpretação dos níveis do nutriente no solo são: para o Método Mehlich-1: Baixo $<0,8$; Médio $0,8$ a $1,7$; Alto $>1,7$; para o Método DTPA: Baixo $<0,5$; Médio $0,5$ a $1,1$; Alto $>1,1$ (Tabela 31). Para solos de Cerrado, utilizar a Tabela 32.

5.4.5 Boro (B)

No solo, o boro pode estar na solução, adsorvido ou na forma mineral. Na solução, o B está associado com o pH do solo. Como a maioria dos solos tem um pH que varia de $5,0$ a $8,0$, o B na solução está como BO_3^{3-} , sendo absorvido na forma de ácido ou borato.

A disponibilidade de B no solo é aumentada com a elevação do pH de $4,7$ para $6,7$, segundo Evans & Sparks (1983). Nas condições próximas à neutralidade, a disponibilidade de B às plantas é máxima, sendo reduzida em solos alcalinos. Contudo, nos solos corrigidos com doses elevadas de calcário, é mais comum o aparecimento de sintomas de deficiência de B. Estudos mostram comportamento semelhante do boro e do fósforo, com decréscimo de seus teores nas plantas, em função do aumento do pH. Esse comportamento suporta a hipótese de que o íon borato e o íon fosfato são precipitados juntamente com o hidróxido de alumínio ou adsorvidos por ele, já que o hidróxido é prontamente precipitado com o aumento do pH, em função da reação com o calcário aplicado no solo (Bartlett & Picarelli, 1973; Bloesch et al., 1978).

Menos de um terço do B (26%) absorvido pela soja é exportado através dos grãos, isto é, dos 77 kg de B absorvido pela planta de soja, para cada tonelada de grãos produzida, somente 20 kg de B são exportados (Correção...,2006).

5.4.6. Silício (Si)

O Si é segundo elemento mais abundante, em peso, na crosta terrestre e componente majoritário de minerais do grupo dos silicatos (Raij, 1991). Ocorre em altos teores nos solos, principalmente, na forma de silicatos, e no quartzo (SiO_2 - mineral inerte das areias).

Do ponto de vista agrônômico, as principais formas de Si presentes no solo são: a) Si solúvel (H_4SiO_4 - ácido monossilícico), que desprovido de carga elétrica, tem interessantes conseqüências no comportamento da sílica, com relação aos vegetais (Raij & Camargo, 1973); b) Si adsorvido ou precipitado com óxidos de ferro e alumínio e nos minerais silicatados (cristalinos ou amorfos).

A solubilidade destes minerais depende da temperatura, pH, tamanho de partícula, composição química e presença de rachaduras (rupturas) em sua estrutura. A dissolução destes minerais é afetada, também, por fatores de solo tais como: matéria orgânica, umidade, potencial de oxi-redução e teores de sesquióxidos.

Os principais solos sob vegetação de Cerrado apresentam alto grau de intemperismo, com alto potencial de lixiviação, baixa saturação de bases, baixos teores de Si-trocável e baixas relações (Ki) $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ e (Kr) Sílica/Sesquióxidos de Fe e Al, apresentando portanto, baixa capacidade de fornecimento de Si disponível para as plantas (Brady, 1992; Silva, 1973).

O Si penetra na planta na forma de ácido monossilícico H_4SiO_4 (Yoshida, 1975). No interior da planta, 99% de Si acumulado encontra-se na forma de ácido silícico polimerizado, o restante, 1%, encontra-se na forma coloidal ou iônica (Yoshida, 1975).

O Si, ao ser absorvido pelas plantas, é facilmente translocado no xilema, e tem tendência natural a se polimerizar. Mais de 94% do Si absorvido pelo trigo foi transportado rapidamente para a parte aérea, concentrando-se nas folhas mais velhas, as quais continham até 11,8% de Si. Em plantas

de pepino, ao ser interrompido o suprimento de Si na solução, as folhas superiores apresentaram concentração de Si marcadamente menor que as inferiores, indicando baixa translocação desse elemento na planta, igualmente ao que acontece com o Ca (Barber & Shone, 1966).

A pesquisa científica tem demonstrado o envolvimento do silício em vários aspectos estruturais, fisiológicos e bioquímicos da vida da planta, com papéis bastante diversos. Além de promover melhorias no metabolismo, ativa genes envolvidos na produção de fenóis e enzimas relacionadas com os mecanismos de defesa da planta.

Existe um limite para o transporte de Si para a parte aérea da soja. Na cultivar Garimpo Comum, em plantas com cerca de 40 dias após germinação, as folhas e hastes chegaram a um patamar em torno de 4500 e 650 mg kg⁻¹ de Si, respectivamente. As raízes, por outro lado, acumularam quantidades proporcionalmente crescentes de Si, conforme se aumentou o nível do elemento no meio. A partir da adição de 30 mg kg⁻¹ de Si, a taxa de acumulação do elemento no órgão subterrâneo foi superior aos demais órgãos da planta. Este mecanismo de acumulação radicular contribui para controlar e manter estável os níveis elevados de Si na parte aérea da soja (Grothge-Lima, 1998).

A deficiência de Si, em soja, causa sintomas característicos, como a má formação de folhas novas e a redução da fertilidade do grão de pólen. A adição de Si aumentou a altura de plantas, o número de vagens, a matéria seca da parte aérea e das raízes da soja (Miyake & Takahashi, 1985). Resultados similares para a parte aérea foram encontrados por Grothge-Lima (1998). O silício, quando aplicado ao solo no cultivo de gramíneas, comprovadamente, confere resistência a algumas doenças e pragas. Por isso, deve-se dar maior importância a esse elemento nos cultivos de soja e culturas associadas, para que possa ser utilizado com o objetivo do controle de doenças e pragas, nestas culturas.

Além disso, os silicatos de cálcio e magnésio, que são escórias da siderurgia, podem vir a ser substitutos do calcário como corretivos da acidez dos solos. Isso é muito importante, quando da necessidade da correção

da acidez em semeadura direta, que é a prática mais utilizada na maioria das lavouras de soja e culturas associadas, onde o calcário é aplicado a lanço, na superfície dos solos, sem incorporação. Como os silicatos são mais solúveis, provavelmente sua reação nos solos é mais rápida e, ao mesmo tempo, podem corrigir a acidez a maiores profundidades.

Na safra 2003/04, foi instalado um experimento em solo Latossolo Vermelho distrófico de Londrina, PR com o objetivo de estudar o efeito nutricional do Si, a sua utilidade como corretivo da acidez do solo e o seu benefício no controle de doenças das culturas de soja e de trigo.

Pela Tabela 10, verifica-se que não houve diferenças significativas entre tratamentos, apesar das baixas produtividades da soja [média geral de 2.342 kg/ha (média normal no Paraná = 2900 kg/ha)], devido a problemas de clima. Porém, houve diferenças absolutas de até 24%, do melhor tratamento (2.688 kg/ha) para o pior (2.143 kg/ha). Observa-se que a produtividade média, máxima, foi obtida no tratamento 4 (2/3 calcário e 1/3 silicato) com 2.415 kg/ha (Sfredo et al., 2005).

TABELA 10. Produção de grãos de soja (2003/04) e de trigo (2004), em função materiais corretivos da acidez do solo, isolados ou em mistura.

| Tratamentos | Incorporado | Não incorporado | Incorporado | Não incorporado |
|---|----------------------|-----------------|-------------|-----------------|
| | Soja | | Trigo | |
| | kg.ha ⁻¹ | | | |
| 01-Testemunha | 2422 aA ¹ | 2354 aA | 2323 cA | 2255 bA |
| 02-Calcário-3t/ha | 2382 aA | 2183 aA | 2597ab A | 2329ab B |
| 03-1/2Calcário + 1/2Silicato (1,5 + 1,5)t/ha | 2301 aA | 2143 aA | 2606ab A | 2524a A |
| 04-2/3Calcário + 1/3Silicato (2,0 + 1,0)t/ha | 2688 aA | 2442 aA | 2651a A | 2301ab B |
| 05-Silicato-3t/ha | 2356 aA | 2146 aA | 2481abcA | 2345abA |
| Média | 2430 A | 2254 A | 2532 A | 2351 B |

¹ Teste de Duncan a 5%: minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas.

Fonte: Sfredo et al., 2005.

Houve, também, diferença absoluta (8%) para o modo de incorporação dos materiais corretivos, com vantagem para incorporação com arado (2.430 kg/ha) sobre sem incorporação (2.254 kg/ha).

Para o trigo, safra 2004, com semeadura seis meses após a aplicação dos corretivos, tempo suficiente para a reação dos mesmos no solo, houve diferenças significativas. Quando se incorporou os corretivos, a produtividade da testemunha foi inferior àquelas dos tratamentos com calcário e silicato. Sem incorporação, somente o tratamento 3 (1/2 calcário e 1/2 silicato) foi diferente e melhor do que a testemunha. O melhor tratamento com corretivos proporcionou aumento de produtividade de 18% (2.651 kg/ha), em relação à testemunha geral (2.255 kg/ha), e a diferença entre as médias de produção do incorporado (2.532 kg/ha) e do não-incorporado (2.351 kg/ha) foi de 8% (Tabela 10). A produtividade média do trigo no Paraná, na safra 2004, foi de 2.250 kg/ha.

Verifica-se que a produtividade média, máxima, foi obtida no tratamento 3 (1/2 calcário e 1/2 silicato), com 2.565 kg/ha.

Pelos resultados obtidos, tanto da soja como do trigo, verifica-se que os corretivos da acidez do solo reagem melhor quando incorporados ao solo e que, a substituição do calcário pelo silicato, é viável.

Essas alternativas, para controle de doenças e pragas, podem minimizar o problema da poluição, causado pela aplicação de defensivos agrícolas, evitando com isso que os animais e mesmo o homem sejam vítimas dessa poluição. Além disso, poderá haver aumento da produtividade das culturas, com menor custo de produção e maior rentabilidade para os produtores e para as regiões onde serão utilizadas.

Entretanto, mesmo com alguns resultados mostrando respostas das plantas à adição de silício, não há recomendação para sua aplicação na cultura da soja.

5.5 Nutrição de plantas e qualidade das sementes

Na agricultura moderna, a semente é um dos insumos mais importantes e constitui-se num dos fatores primordiais para o sucesso ou fracasso da produção, pois nela estão contidas as potencialidades produtivas da planta: é através dela que os aperfeiçoamentos introduzidos pelo melhoramento genético das espécies são levados até o produtor (Sá, 1994).

Conforme Camargo et al. (1983), para que os agricultores possam usufruir de toda a potencialidade produtiva das novas cultivares desenvolvidas pelo melhoramento genético, torna-se necessária a execução de uma série de atividades distintas, subseqüentes e interdependentes, que assegurem a preservação das características desses materiais, até sua utilização final pelos produtores.

Vários fatores afetam a qualidade das sementes. Dentre eles, o tipo de solo e a fertilidade do mesmo são muito importantes para que as sementes produzidas sejam bem nutridas e, conseqüentemente, tenham alta qualidade para gerar plantas vigorosas e mais produtivas.

Plantas bem nutridas reúnem condições para maiores produtividades e sementes mais bem formadas. A exigência nutricional das plantas é mais intensa no início dos estádios reprodutivos, sendo mais crítica quando boa parte dos nutrientes são translocados para a formação das sementes. Nessa fase, os nutrientes são necessários para a formação e o desenvolvimento de novos órgãos e, também, para a formação de materiais de reserva que serão armazenados nas sementes.

A maior disponibilidade de nutrientes influi na formação do embrião e dos órgãos de reserva, bem como na composição química da semente, tendo marcante efeito sobre o vigor e a qualidade da mesma.

Conforme Sá (1994), o papel dos nutrientes é de fundamental importância na formação das sementes, principalmente no que se refere à constituição de membranas e acúmulo de carboidratos, lipídeos e proteínas. As funções de ativação de enzimas, síntese de proteína, transferência de energia e

regulação hormonal, são características fundamentais do aspecto de formação, desenvolvimento e maturação das sementes e, assim, tanto macro como micronutrientes apresentam importância similar nesses eventos.

Conforme considerações de Toledo e Marcos Filho (1977), a vitalidade das sementes depende, em parte, do vigor de seus ascendentes, motivo pelo qual as áreas cultivadas para produção de sementes devem possuir boa fertilidade, além de receberem adubações equilibradas.

O aumento do rendimento das culturas tem sido atribuído, freqüentemente, ao aumento da adubação potássica e fosfatada, além de outras práticas culturais. A obtenção de um estande desejado, no estabelecimento da cultura, é fundamental para a obtenção do rendimento máximo de uma lavoura, principalmente de soja, onde falhas na germinação dificilmente são compensadas.

Entre os fatores que podem ter influência sobre o comportamento da própria semente e da planta resultante, a origem e a qualidade bioquímica da mesma são os menos estudados. No entanto, parece que a origem da semente pode ter certa influência sobre o comportamento desta durante, pelo menos, a fase de germinação. As sementes, à semelhança dos demais órgãos da planta, apresentam composição química bastante variável por se tratar de um órgão que se forma no final do ciclo da planta. O conhecimento da composição química da semente é de interesse prático da Área de Tecnologia de Sementes, pois, tanto o vigor como o potencial de armazenamento são influenciados pelo teor dos compostos presentes nas mesmas (Carvalho e Nakagawa, 1983).

5.5.1 Fósforo

Os compostos fosforados apresentam grande importância, nas várias reações que ocorrem nas sementes.

O fósforo é constituinte da molécula dos ácidos nucléicos, que, por sua vez, estão relacionados com a síntese de proteínas. O fósforo integra também os fosfolipídeos (lecitina), os açúcares fosforados, os nucleotídeos e a fitina, que é um sal de Ca e Mg.

Trigo et al., 1997, realizaram estudos mostrando que o conteúdo de P da semente foi responsável por um aumento significativo no rendimento de plantas de soja, cv. BR-16. A maior disponibilidade interna de P promoveu um aumento no rendimento das plantas originadas de sementes com maior disponibilidade desse elemento, independentemente dos níveis do mesmo no solo. O conteúdo de P na semente foi responsável por um aumento significativo na matéria seca de plântulas aos 21 dias, na altura de plantas, no número de vagens e no número de sementes por planta; esses dois últimos relacionados diretamente com o rendimento. A influência de altas concentrações de fósforo, durante o período reprodutivo, é sobre a retenção floral, o que resultaria numa maior produção, segundo Gravau *et al.* (1989), citados por Trigo et al. (1997). Ressalte-se, aqui, que os níveis de P nas sementes, utilizados no trabalho, estão sempre acima de $4,4 \text{ g kg}^{-1}$ de P, nível considerado suficiente para as sementes de soja. A tendência, para todos os parâmetros, foi idêntica ao mostrado na Fig. 51, onde houve aumentos no rendimento, tanto para dose como para P na semente. A interação entre esses fatores não foi significativa, em nenhum parâmetro avaliado (Trigo et al., 1997).

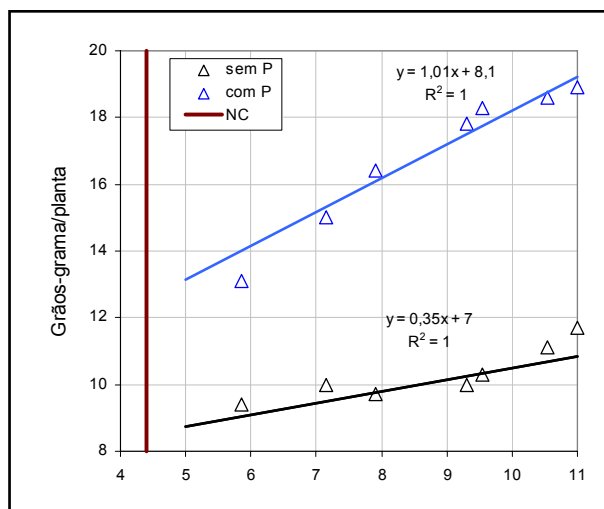


Fig.51. Produção de grãos de soja, cv. BR-16, em função de diferentes concentrações de fósforo (g kg^{-1} de P) na semente e dois níveis de P no solo: com adubação fosfatada (CP) e sem adubação fosfatada (SP). Trigo et al., 1997 .

Formula-se a hipótese de que concentrações mais elevadas de P nas sementes proporcionariam maior disponibilidade de energia, para as atividades metabólicas da semente, o que levaria ao maior crescimento inicial das plântulas e ao desenvolvimento maior e mais rápido do sistema radicular, resultando no aumento da absorção de nutrientes e, conseqüentemente, na capacidade produtiva da planta.

Segundo Thomson *et al.* (1992), citados por Trigo *et al.* (1997), o incremento no rendimento em plantas provenientes de sementes com elevadas concentrações de P seria atribuído tanto ao maior crescimento das raízes e da parte aérea, como ao favorecimento da nodulação. Aquelas plantas originadas de sementes com maior conteúdo de P atendem melhor à demanda metabólica inicial, tornando-as, portanto, menos dependentes dos teores existentes deste elemento no solo, nesta fase. Em solos com menor disponibilidade de fósforo, a importância do conteúdo deste nutriente nas sementes poderá ser relevante para o estabelecimento das plantas. Isto não significa, entretanto, que as plantas originárias de sementes com alta concentração de P possam prescindir de adequados teores desse nutriente no solo; os resultados indicam que os efeitos do P no solo são maiores do que os do P nas sementes.

Fox & Albrecht (1957), citados por Sá (1994), em trigo, mostraram que a germinação e o vigor das sementes aumentaram com a aplicação de nitrogênio, correlacionando com o teor de nitrogênio nas sementes. Com relação ao fósforo, verificaram que níveis adequados desse nutriente proporcionaram uma produção de sementes de melhor qualidade, em relação à emergência, enquanto que grandes quantidades de P a depreciaram. Concluíram que houve evidência de que existe uma associação entre o conteúdo de proteína nas sementes com relação à germinação e ao vigor.

Cabe ressaltar aqui a importância do equilíbrio nutricional, onde a deficiência ou o excesso de nutrientes resultam em efeitos negativos, tanto na produtividade das culturas como na qualidade das sementes produzidas, nessas situações.

5.5.2 Potássio

A deficiência de potássio, além de prejudicar o funcionamento de várias enzimas e dispor as plantas à penetração de fungos patogênicos, causa uma diminuição na taxa fotossintética, pois os sintomas iniciam com clorose internerval, seguida de necrose nas folhas, diminuindo a área foliar.

Por isso, a consequência negativa no metabolismo das plantas causa problemas nos órgãos reprodutivos, diminuindo a qualidade fisiológica e sanitária das sementes geradas nessa situação de deficiência.

Com o objetivo de avaliar a qualidade física, fisiológica e sanitária de sementes de soja, França Neto et al. (1985 e 1987) coletaram sementes de experimento com doses de 0, 40, 80, 120, 160 e 200 kg/ha de K_2O , que foi instalado em LRd de Marilândia do Sul, PR (Mauá da Serra), onde os teores de potássio trocável no solo estavam muito baixos, nas safras 1983/84 e 1984/85. Houve aumento significativo na média da produção das safras, até a dose 80 kg/ha, mostrando grande resposta à aplicação de potássio no solo (Figura 43).

As sementes foram submetidas aos testes de germinação padrão (rolo de papel-25°C), emergência em areia, tetrazólio (viabilidade, vigor, índice de deterioração por umidade e danos causados por percevejo), envelhecimento acelerado (gerbox 41°C/48 horas), peso seco de 100 sementes, tamanho médio de lote, teor de potássio nas sementes e nas folhas e, finalmente, análise sanitária.

Os teores de K nas folhas e nas sementes aumentaram com o acréscimo da dose de K_2O , até o nível 120 kg/ha, a partir do qual não foram observadas diferenças estatísticas.

Os índices de *Phomopsis* spp. nas sementes foram significativamente superiores nos tratamentos com zero e 40 kg/ha de K_2O , à exceção da safra 1984/85, onde só o zero foi diferente, indicando que deficiência de K pode predispor as sementes à infecção do fungo.

De maneira geral, a qualidade fisiológica foi significativamente superior, para os tratamentos com doses iguais e superiores a 80 kg/ha de K_2O . Isso pode ser explicado, principalmente, pela maior incidência de danos de percevejos e deterioração por umidade nas doses menores (Tabelas 11 e 12). A Fig. 17, elaborada com as sementes dos tratamentos das doses de K e a produção de grãos, ilustra muito bem o efeito da falta de potássio sobre as sementes de soja desse experimento.

Com relação ao tamanho médio do lote e peso de 100 sementes, observou-se que os menores valores foram obtidos para os tratamentos 0 e 40 kg/ha de K_2O , nas duas safras estudadas.

Ellett (1973), atribui o efeito do K na diminuição dos danos causados por doenças à influência deste cátion no desenvolvimento estrutural, favorecendo o espessamento de paredes externas da epiderme. Outros aspectos importantes incluem o efeito dos níveis de K na atividade enzimática, na síntese de proteínas e na proporção de compostos nitrogenados não protéicos e carboidratos solúveis em plantas (Kiraly, 1976). A resistência ao alastramento de uma doença está relacionada à composição química dos conteúdos da célula, embora a espessura e o grau de lignificação das paredes sejam importantes.

A deficiência de K reduz a taxa de fotossíntese por unidade de área foliar e, como consequência, provoca maiores taxas de respiração. Uma combinação desses dois fatores sugere, pelo menos, decréscimo no potencial das reservas de carboidratos na planta, quando há falta de K.

Estudos realizados mostraram que o K reduziu, em 70% dos casos, doenças bacterianas e fúngicas (Perrenoud, 1977). O papel do K no controle de doenças de plantas é, sem dúvida, influenciado por muitos fatores, incluindo clima, práticas de manejo, como a rotação de culturas e a irrigação, e resistência genética das cultivares. Em geral, a adubação potássica é mais propensa a aumentar a resistência da planta a doenças, quando o K encontra-se num nível baixo de disponibilidade, no solo, onde uma resposta na produção é também esperada.

TABELA 11. Incidência de *Phomopsis* sp. e germinação de sementes de soja 'Paraná', em função de doses e métodos de aplicação de potássio em Latossolo Roxo distrófico, em Marilândia do Sul, PR, em duas safras 1983/84 e 1984/85. Embrapa Soja. 2008.

| K ₂ O kg/ha | % de <i>Phomopsis</i> sp. na semente | | % de germinação (rolo papel 25°C) | | % emergência em areia | |
|---------------------------|---|---------|--------------------------------------|---------|--------------------------|---------|
| | 1983/84 | 1984/85 | 1983/84 | 1984/85 | 1983/84 | 1984/85 |
| 0 | 19,4 c | 54,0 b | 76,5 c | 22,8 c | 65,1 c | 42,4 d |
| 40 | 13,3 c | 25,8 a | 82,0 b | 59,5 b | 72,7 b | 76,0 c |
| 80 | 1,3 b | 25,8 a | 93,2 a | 62,2 bc | 83,2 a | 77,3 bc |
| 120 | 3,6 a | 17,6 a | 90,6 a | 68,6 a | 84,2 a | 85,3 a |
| 160 | 2,5 a | 19,7 a | 89,3 a | 67,9 ab | 85,6 a | 83,3 ab |
| 200 | 3,5 a | 7,8 a | 92,9 a | 66,5 ab | 86,7 a | 82,8 ab |
| C.V. % | 29,8 | 19,8 | 5,0 | 19,1 | 6,7 | 4,9 |

¹ Médias seguidas de mesma letra, por coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Fonte: França Neto et al. (1985 e 1987)

TABELA 12. Resultados do teste de envelhecimento acelerado, e do teste de tetrazólio (viabilidade e vigor), realizados em sementes de soja 'Paraná', em função de doses e métodos de aplicação de potássio em Latossolo Roxo distrófico, em Marilândia do Sul, PR, em duas safras 1983/84 e 1984/85. Embrapa Soja. 2008.

| K ₂ O kg/ha | Envelhecimento a acelerado (gerbox) (%) | | Tetrazólio | | | |
|---------------------------|--|---------|-----------------|---------|-----------|---------|
| | | | Viabilidade (%) | | Vigor (%) | |
| | 1983/84 | 1984/85 | 1983/84 | 1984/85 | 1983/84 | 1984/85 |
| 0 | 73,0 c ¹ | 25,9 b | 82,6 c | 46,5 d | 66,5 c | 33,3 c |
| 40 | 80,8 b | 63,7 a | 87,0 b | 73,3 c | 74,6 b | 62,6 b |
| 80 | 91,1 a | 66,0 a | 91,0 ab | 76,0 bc | 78,9 ab | 66,9 ab |
| 120 | 90,6 a | 73,1 a | 93,0 a | 80,5 ab | 82,0 a | 71,6 a |
| 160 | 92,1 a | 71,8 a | 91,3 ab | 83,3 a | 79,6 ab | 70,9 a |
| 200 | 92,1 a | 69,4 a | 92,3 a | 77,3 bc | 83,6 a | 65,8 ab |
| C.V. % | 7,4 | 9,9 | 4,6 | 4,4 | 6,3 | 7,7 |

¹ Médias seguidas de mesma letra, por coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade.

Fonte: França Neto et al. (1985 e 1987)

Em experimento conduzido nos EUA, a adição de K reduziu a proporção de sementes infectadas por *Phomopsis* de 75%, com baixo K, para 13%, com alto K, em duas cultivares (Crittendem & Svec, 1974).

A Tabela 13 mostra o efeito da influência do K sobre a infecção por *Phomopsis* em soja (Griffith, 1977), em três estados dos EUA. O autor verificou que a aplicação de 132 kg/ha de K₂O proporcionou a diminuição percentual de sementes infectadas e danificadas de 27% para 5%, em média.

TABELA 13. Influência do K sobre a infecção por *Phomopsis*, em sementes de soja, nos EUA.

| kg/ha K ₂ O | % de sementes com <i>Phomopsis</i> | | | |
|---------------------------|------------------------------------|-------------------|------|-------|
| | Virgínia | Carolina do Norte | Ohio | Média |
| 0 | 12 | 37 | 31 | 27 |
| 132 | 1 | 3 | 12 | 5,6 |

Fonte: Griffith (1977)

A Tabela 14 mostra que a incidência de fungos, em geral, diminuiu de 23% para 6,5% nas sementes de soja, com a aplicação de 60 kg/ha de K. A produção aumentou, em média, de 1650 kg/ha para 2350 kg/ha, com a mesma dose de K. A incidência de *Phomopsis* teve pouca influência com a aplicação de K. Porém, sabe-se que esse fungo desaparece quando as sementes soja são armazenadas em boas condições e/ou que ele tem pouco efeito na germinação das sementes a campo (Jeffers et al., 1982).

5.5.3 Fósforo e Potássio

Thompson Jr (1978), citado por Sfredo e Carrão-Panizzi (1990), estudando P e K na qualidade de semente e na produção da soja, verificou que houve efeito dos dois nutrientes, porém o K diminuiu, até próximo de zero, o aparecimento de sementes danificadas e doentes (Tabela 15). Na produção, também foi verificado maior efeito de K, talvez porque a deficiência deste elemento era acentuada.

TABELA 14. Efeito do K sobre a produção e qualidade de sementes de soja

| Ano | Kg/ha de K | | |
|---------------------------|---------------------|--------|--------|
| | 0 | 17 | 60 |
| Produção de grãos (kg/ha) | | | |
| 1º ano | 1800 B ¹ | 2000 B | 2300 A |
| 2º ano | 1500 B | 2300 A | 2400 A |
| Sementes com fungo (%) | | | |
| 1º ano | 34 A | 23 B | 94 C |
| 2º ano | 12 A | 7 B | 4 C |
| <i>Phomopsis (%)</i> | | | |
| 1º ano | 61 A | 51 B | 44 C |
| 2º ano | 54 AB | 57 A | 50 B |

¹ Médias seguidas de mesma letra, nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade pelo teste LSD.

Fonte: Jeffers e al., 1982.

TABELA 15. Efeito de P e K sobre a produção e a qualidade das sementes de soja.

| P ¹ | Kg/ha | | Sementes danificadas e doentes (%) |
|----------------|----------------|----------|------------------------------------|
| | K ¹ | Produção | |
| 0 | 0 | 1614 | 20,8 |
| 195 | 0 | 1950 | 12,5 |
| 0 | 372 | 2556 | 1,8 |
| 195 | 372 | 2826 | 1,3 |

¹ Total aplicado no 1º ano, em cinco anos de estudo: dados do terceiro ano.

Fonte: Thompson Jr, 1978, citado por Sfredo e Carrão Panizzi, 1990.

Durante a semeadura, o posicionamento do fertilizante afeta a germinação da semente e a emergência de plântulas. Bevilaqua et al., 1996, estudando doses (200 e 400 kg/ha da fórmula 0-25-25-NPK) e a posição do fertilizante, em relação às sementes de soja (2 cm e 4 cm, abaixo e ao lado), concluíram que: a) o adubo não aumenta a emergência, a velocidade de emergência, o comprimento de raiz e parte aérea e o PMS de raiz e parte aérea de plântulas de soja; b) o adubo colocado junto à semente prejudica o desenvolvimento das plântulas, nas doses de 200 e 400 kg/ha; c) o adubo pode ser colocado a 2 cm ao lado e/ou abaixo da semente na dose de 200 kg/ha e a 4 cm ao lado e/ou abaixo para a dose de 400kg/ha; d) há maior absorção de P na dose de 400kg/ha.

Ao analisar-se o efeito da dose do adubo, verifica-se que 400kg/ha prejudicou a emergência e o IVE, concordando com Rajj (1991), o qual concluiu que doses acima de 50kg/ha de K_2O podem afetar a germinação de espécies sensíveis.

O posicionamento inadequado do fertilizante, freqüentemente, pode ser causa de problemas na emergência das sementes, visto que o fertilizante exerce efeito salino no solo, competindo com a semente na absorção de umidade.

A eficiência da planta na absorção de nutrientes está ligada a vários fatores. A proximidade do fertilizante ao sistema radicular exerce grande influência na sua absorção, principalmente na fase de plântula (Rajj, 1991). As características de íon também influenciam, como no caso do fósforo e do potássio que possuem baixa mobilidade na solução do solo, podendo ocasionar problemas de deficiências, por baixa absorção ou perdas através do perfil.

Na fase de plântula, a necessidade de absorção de nutrientes é mais elevada devido à maior taxa de crescimento, ou seja, a planta necessita maior quantidade de nutrientes em menor espaço de tempo e, nesta fase, a raiz da plântula encontra-se mais suscetível ao dano causado pelo fertilizante. Com isso, verifica-se que, para aumentar o rendimento das culturas, é necessária uma absorção mais eficiente dos nutrientes e que não prejudique o desenvolvimento do sistema radicular (Bevilaqua et al., 1996).

Estudando doses de P (80, 160, 240 e 320 kg/ha de P_2O_5) e K (40, 80, 120 e 160 de K_2O), Vieira *et al.* (1987a) constataram que a adubação da cultura de soja, com diferentes doses de fósforo e de potássio, não afetou a germinação e o vigor, avaliado através do índice de velocidade de emergência, do teste de envelhecimento acelerado e do peso de matéria seca de plântula. Apenas o vigor, avaliado pela primeira contagem do teste de germinação, aumentou significativamente com a elevação da dose de fósforo até 240 kg/ha de P_2O_5 .

Borba *et al.* (1980, 1981), semelhantemente, não verificaram efeito da adubação fosfatada e potássica sobre a germinação e o vigor de sementes, de três cultivares de soja.

5.5.4 Cálcio e Magnésio

Na safra 1988/89, França Neto *et al.* (1993), utilizando sementes de experimento com cinco proporções entre calcário calcítico/dolomítico (0/0, 100/0, 67/33, 33/67 e 0/100), conduzido em solo Latossolo Vermelho escuro, de Ponta Grossa, PR, mostraram que os resultados obtidos pelo teste de germinação e pelo teste de sanidade não diferiram estatisticamente. Foi constatada uma tendência dos resultados de rendimento de grãos (100%=2657 kg/ha), de germinação, tz-viabilidade e tz-vigor (Fig.52) aumentarem a partir da proporção 0/0 até 67/33 e, posteriormente, decrescerem até a proporção 0/100. O teste de tetrazólio acusou diferenças significativas apenas para viabilidade, sendo esta superior para os tratamentos 100/0, 67/33 e 33/67.

Na safra 1990/91, foi avaliada a qualidade da semente de soja das cultivares FT-10 e OCEPAR-8, produzidas em Ponta Grossa, PR – solo classificado como LEa – e das cultivares OCEPAR 8 e OCEPAR 4, produzidas em Guarapuava, PR – solo LBa, em função de diferentes proporções de calcário calcítico e dolomítico (porcentagens de calcítico/dolomítico: 0/0; 100/0; 80/20; 40/60 e 0/100) adicionadas ao solo (França Neto *et al.*, 1999).

Foram realizados os testes de germinação, emergência em área, envelhecimento acelerado, tetrazólio (TZ) completo, sanidade e peso seco de 1000 sementes.

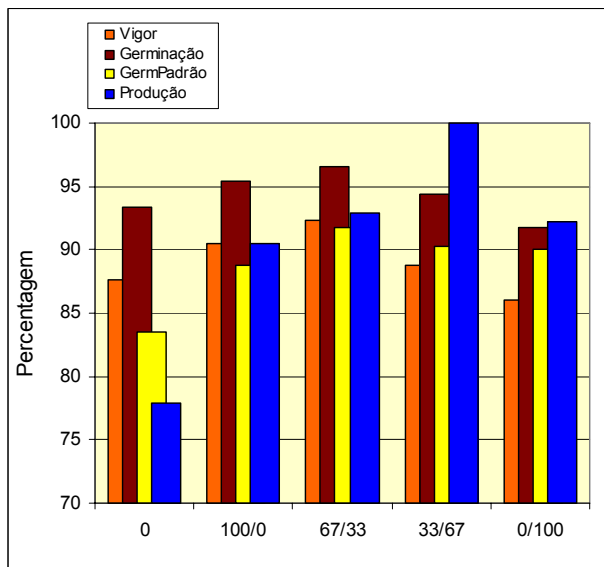


Fig.52. Vigor, Germinação, Germinação Padrão e Produção relativa, em função de proporções de calcário calcítico/dolomítico, em LE de Ponta Grossa, PR. Safra 1988/89.

A adição de calcário resultou num aumento significativo do rendimento em Ponta Grossa para ambas as cultivares (Fig.52). Em Guarapuava, apenas a cv. OCEPAR 4 mostrou uma resposta positiva à adição de calcário, sendo que a “OCEPAR 8” mostrou comportamento inverso.

A Tabela 16 mostra a análise do solo, um ano após a aplicação dos calcários. Em Ponta Grossa, verifica-se que o teor inicial ($1,41 \text{ cmol.dm}^{-3}$) é considerado muito baixo e, sendo assim, é de se esperar que houvesse resposta à calagem, como aconteceu e está mostrado na Fig. 52. Também, houve aumento dos teores de Ca e Mg, à medida que se aplicou um ou outro elemento através do calcário, tanto em Ponta Grossa como em Guarapuava. Nesse último local, os teores de Ca e Mg já estavam dentro daquele considerado suficiente para a soja, nesse tipo de solo.

TABELA 16. Análise química do solo, na safra 1990/91 (teores de Ca, Mg e K em cmol.dm^{-3}). Embrapa Soja. 2008.

| Proporção em % de calcários calcítico/dolomítico | Safrá 1990/91 | | | | | |
|--|-----------------------------------|------|------|--------------------|------|------|
| | Ponta Grossa | | | Guarapuava | | |
| | -----Média de 2 cultivares----- | | | -----OCEPAR 4----- | | |
| | Ca | Mg | K | Ca | Mg | K |
| | ----- cmol.dm^{-3} ----- | | | | | |
| 0 | 1,41 | 0,68 | 0,22 | 4,73 | 2,15 | 0,37 |
| 100/0 | 5,09 | 0,36 | 0,20 | 6,53 | 2,26 | 0,39 |
| 67/33 | 4,89 | 0,66 | 0,19 | 6,30 | 2,48 | 0,34 |
| 33/67 | 4,36 | 1,64 | 0,17 | 5,77 | 3,01 | 0,34 |
| 0/100 | 3,41 | 2,79 | 0,16 | 5,45 | 3,25 | 0,36 |

Fonte: França Neto et al., 1999.

O peso seco de 1000 sementes aumentou significativamente com a adição de calcário, em ambos os locais, porém esse aumento foi mais marcante em Ponta Grossa.

A qualidade das sementes de ambas as cultivares produzidas em Ponta Grossa foi bastante elevada, não sendo observadas diferenças significativas de qualidade com a adição de calcário para os parâmetros germinação, emergência em areia, envelhecimento acelerado, TZ-viabilidade e TZ-vigor. Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos para o índice de deterioração por umidade, nível (6-8), para sementes produzidas em Ponta Grossa, determinado pelo teste de tetrazólio.

A análise sanitária realizada em sementes produzidas em Ponta Grossa acusou baixos índices de infecção por *Cercospora kikuchii*, *Fusarium* spp., *Phomopsis* spp. e bactérias saprofíticas. O mesmo ocorreu para sementes de "OCEPAR 4" produzidas em Guarapuava.

Deficiência de cálcio resultou em sementes de cenoura e pimenta com baixa germinação [Harrington (1960), citados por Sá (1994)]. Essas sementes foram armazenadas em laboratório e a germinação sofreu maior redução do que aquelas produzidas em solução nutritiva completa.

O cálcio e o boro são muito importantes na germinação do grão de pólen e o cálcio, também, na elongação do tubo polínico, que estão diretamente ligados à formação da semente, sendo que, quaisquer anormalidades, nesta fase, podem ser prejudiciais à obtenção de sementes de alta qualidade.

Trabalhos de Harris & Brolmann (1966) mostraram que sementes de amendoim, produzidas sob condições de deficiência de cálcio e de boro, apresentaram baixa germinação. Pereira (1974), relatou que sementes de feijão, de plantas desenvolvidas em condições de deficiência de cálcio, apresentaram baixo vigor e a plúmula se apresentou debilitada.

Segundo Russel & Russel (1964) , citados por Sá (1994), o magnésio desempenha papel relevante no transporte de fósforo na planta e, possivelmente, em consequência disso, se acumula nas sementes das espécies ricas em óleo. Estudando o efeito do magnésio sobre a qualidade de sementes de milho e feijão, Szukalski (1969) verificou que a adição deste nutriente aumentou o teor de fósforo nas sementes de feijão e o teor de Mg nas sementes favoreceu a germinação e o desenvolvimento das plântulas, particularmente as de milho.

Rossetto et al. (1994) obtiveram maior produção de grãos e de sementes de soja e, ainda, houve uma maior uniformização da proporção de sementes de maior tamanho e peso, quando aplicaram calcário. Entretanto, as sementes de maior tamanho apresentaram menor qualidade física e fisiológica.

Houve, também, um efeito benéfico na redução da absorção de Mn pelas plantas de soja, com teores reduzidos de 118 mg/kg para 79 mg/kg nas folhas. Isso é muito salutar para as plantas, pois a presença de Mn, em excesso, diminui a produção, principalmente, devido à diminuição do número de vagens e da formação de grãos de menor tamanho.

Além disso, o aumento do pH do solo, através da correção com calcário, deixa o molibdênio mais disponível para as plantas, o que proporciona maior absorção de nitrogênio, já que esse nutriente melhora a fixação biológica de N e o seu transporte, dentro da planta, é facilitado pela redução do nitrato, pois o Mo faz parte da constituição da enzima nitrogenase e nitrato

reduzida. Realmente, Rossetto et al. (1994) mostraram que as plantas de soja absorveram maior quantidade de N, com a aplicação de calcário.

Vale e Nakagawa (1996), estudaram a qualidade de sementes de feijão, provenientes de plantas que receberam diferentes doses de calcário (0; 1,1; 2,2; 3,4; 4,5 e 5,7t/ha), em terra roxa estruturada distrófica. As cultivares de feijão estudadas foram Carioca e Emgopa 201-Ouro. As sementes foram avaliadas quanto à pureza física, peso de 100 sementes, teor de água, tamanho (classificação por peneiras), germinação e vigor (condutividade elétrica, percentagem e velocidade de emergência de plântulas no campo) e teor de proteína. As doses de calcário não apresentaram efeito na pureza física das sementes, nas duas cultivares. Somente a cultivar Emgopa 201-Ouro foi favorecida pela presença do calcário, em relação ao peso de 100 sementes. As maiores doses de calcário ocasionaram a produção de maior percentagem de sementes graúdas, para as duas cultivares. A germinação de sementes não foi afetada pelas doses de calcário. Porém, na cv Carioca, as sementes apresentaram maior vigor com o aumento das doses. Para o teor de proteína nos grãos, as doses de calcário proporcionaram aumento nas duas cultivares, com a cv. Emgopa 201-Ouro apresentando valores maiores que a cv. Carioca.

5.5.5 Zinco

Cavalcante et al. (1982) verificaram que o zinco e o fósforo proporcionaram sementes de melhor qualidade, com maior viabilidade. Resultados semelhantes com zinco foram obtidos por Gopalakrishanan & Veerannah (1962), citados por Sá (1994), em amendoim. Em laboratório, verificaram a eficácia de micronutrientes sobre a germinação das sementes, pelas alterações bioquímicas na germinação, destacando o nutriente como acelerador do crescimento da radícula.

Vieira et al. (1987b), estudando o efeito de doses de zinco, concluíram que o zinco aumentou a produção de grãos; entretanto, não teve influência na qualidade fisiológica das sementes de soja.

Cavalcante et al. (1982) mostraram que o zinco propiciou aumento da germinação das sementes de arroz. Seu efeito foi favorável tanto sozinho, como associado ao potássio ou ao nitrogênio. O fósforo também revelou efeito positivo sobre a germinação. O efeito foi aumentado pela aplicação de nitrogênio.

5.5.6 Peso e densidade das sementes

Segundo Poppiningis (1977), o tamanho da semente, em muitas espécies, é indicativo de sua qualidade fisiológica. Assim, dentro do mesmo lote, as sementes pequenas apresentam menor germinação e vigor do que as de tamanho médio e grande. Já Carvalho & Nakagawa (1983) relatam que as sementes de maior tamanho, ou as que apresentam maior densidade, são as que foram melhor nutridas durante seu desenvolvimento. As maiores e as de maior densidade são as que possuem, normalmente, embriões bem formados e com grande quantidade de reserva, potencialmente as mais vigorosas.

Sabe-se que o aumento do teor de proteína confere maior peso e densidade às sementes e, portanto, quando se estimula este aumento, é esperado que a qualidade da semente seja melhor.

Sfredo et al. (1997), com a adição de Mo às sementes de soja, conseguiram aumentar o teor de proteína (Fig.50). A aplicação de enxofre aumentou os teores de enxofre, de óleo e de proteína, em sementes de soja, com aumento de produtividade, conforme mostra a Tabela 17 (Chadel et al., 1989). É provável que essas sementes apresentaram maior peso e, conseqüentemente, maior poder germinativo e vigor.

Em arroz, Sung & Delouche (1962), citados por Sá (1994), observaram que a percentagem de germinação das sementes era estreitamente correlacionada com a densidade da semente, de forma que, em um mesmo lote, as sementes mais densas apresentaram maior germinação. Rocha (1975), citados por Sá (1994), separou sementes de arroz em quatro classes de peso específico e observou que a germinação estava diretamente relacionada com o peso específico das sementes.

TABELA.17. Efeito da aplicação de enxofre sobre a percentagem de enxofre (S), de proteína e de óleo e a produção de sementes de soja.

| -----S----- | | -----%----- | | | Produção |
|-------------|-----------|-------------|----------|-------|----------|
| kg/ha | mg/planta | S | proteína | Óleo | kg/ha |
| 0 | 1,48 | 0,25 | 40,77 | 18,94 | 2413 |
| 5 | 2,45 | 0,39 | 41,06 | 20,76 | 2446 |
| 10 | 2,73 | 0,41 | 42,25 | 20,93 | 2614 |
| 20 | 2,82 | 0,45 | 42,64 | 20,96 | 2674 |
| 30 | 3,21 | 0,52 | 41,66 | 21,38 | 2678 |
| 40 | 3,37 | 0,55 | 42,42 | 21,31 | 2525 |

Fonte: Chadel et al., 1989.

Szukalski (1969) observou efeitos favoráveis da aplicação de magnésio sobre o peso das sementes de milho e de feijão. Aparentemente, não apenas o nutriente em si, mas também a dose fornecida às plantas, pode influir no tamanho ou no peso das sementes. França Neto et al. (1985) verificaram, também, efeito de doses de potássio sobre o tamanho das sementes de soja.

Sá (1982) verificou, em feijão, que ocorre diferença de respostas das variedades, com relação ao efeito da adubação fosfatada sobre o peso de mil sementes. Apesar disso, nas três cultivares que apresentaram aumento de peso das sementes, isso não causou efeito sobre o vigor e a germinação.

Torna-se relevante ressaltar que o papel dos nutrientes na formação das sementes é fundamental, principalmente, no que diz respeito à constituição de membranas e acúmulo de carboidratos, lipídeos e proteínas. As funções de ativação enzimática, síntese de proteínas, transferência de energia e regulação hormonal, são características fundamentais no aspecto de formação, desenvolvimento e maturação das sementes e, assim, tanto macro como micronutrientes apresentam importância similar nesses eventos. Se os efeitos dos nutrientes, na qualidade fisiológica das sementes não são tão pronunciados, em muitos trabalhos, as deficiências, geralmente, se mostram marcantes, de forma que, se nutrições adequadas aumentam significativamente a produção e mantêm a qualidade das sementes em níveis superiores, elas devem ser recomendadas (Sá, 1994)

Com todos os resultados apresentados, verifica-se que, nem sempre, há respostas positivas da aplicação de fertilizantes sobre a qualidade das sementes. Entretanto, se forem bem observados, os resultados mostram respostas sempre que há deficiência de algum nutriente no solo. Nesse caso verifica-se que na deficiência nutricional, a qualidade das sementes é prejudicada. Por isso, sempre que se fizer estudos com a intenção de verificar a resposta a nutrientes, deve-se escolher solos com baixos teores do nutriente a ser estudado.

5.6 Gesso agrícola

O gesso, sulfato de cálcio, com variado grau de hidratação, vem sendo obtido em grandes quantidades como um subproduto da fabricação de superfosfato triplo. Há, também, o gesso proveniente de minas existentes no Nordeste brasileiro, cuja distribuição a longo é mais facilitada que o gesso subproduto da indústria de fosfatos porque é completamente seco.

A sua utilização como fertilizante é conhecida desde a antiguidade, como fonte de cálcio e enxofre. O gesso, porém, não tem poder de correção da acidez do solo como o calcário. Na hidrólise calcária, os íons resultantes são cálcio (Ca^{2+}) e o bicarbonato (HCO_3^-), sendo este último o responsável pela neutralização da acidez, e do íon (OH^-). Com a hidrólise do gesso, os íons resultantes são o cálcio (Ca^{2+}) e o sulfato (SO_4^{2-}), que não são neutralizantes da acidez do solo. O gesso não pode, então, ser considerado como um corretivo.

Sousa et al. (1995) verificaram que, sem gesso, somente 10% das raízes do milho se distribuem abaixo de 30 cm de profundidade, enquanto, com gesso, 48% ficaram abaixo desta profundidade. A produtividade do milho foi 72% maior com a aplicação do gesso.

Os trabalhos publicados até o momento demonstram que o gesso pode complexar o alumínio, tornando-o menos tóxico às plantas. Essa propriedade, no entanto, está relacionada com a quantidade de água, textura e mineralogia do solo, não sendo possível generalizá-la para todas as situações.

6

Correção da Acidez do Solo

6.1 Acidez do solo

A reação do solo pode ser ácida, básica ou neutra. Nos solos situados em regiões sob clima tropical e subtropical, predominam solos com reação ácida.

Os nutrientes têm sua disponibilidade determinada por vários fatores, entre eles o valor do pH. Assim, em solos com pH excessivamente ácido, ocorre diminuição na disponibilidade de nutrientes como fósforo, cálcio, magnésio, potássio, e molibdênio e aumento da solubilização de íons como zinco, cobre, ferro, manganês e alumínio que, dependendo do manejo do solo e da adubação utilizados, podem atingir níveis tóxicos às plantas (Fig. 53).

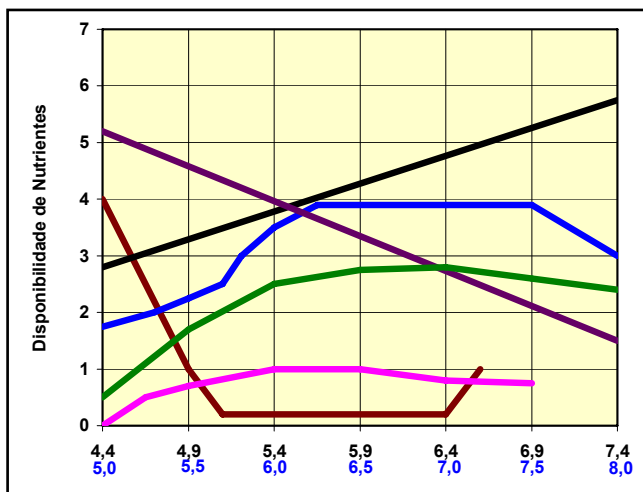


Fig. 53. Relação entre pH e disponibilidade de elementos no solo_pH em CaCl₂ e pH em água

6.2 Calagem

A eficiência de utilização de fertilizantes é menor em solos ácidos e, portanto, a calagem deve ser a primeira atividade para a correção da fertilidade dos solos. Para uma melhor disponibilidade de nutrientes, evitando, também, a toxicidade de alguns elementos, deve-se trabalhar dentro de uma faixa de pH (CaCl_2), que varia de 5,4 a 5,9, dependendo do material de origem e do estado de intemperização do solo.

A calagem é uma prática que, quando executada de forma correta, permite a exploração racional de uma área, uma vez que reduz os efeitos nocivos da acidez do solo, diminuindo a concentração, na solução do solo, de elementos como ferro, alumínio e manganês que possam estar em níveis tóxicos às culturas. A adição de calcário no solo, além de elevar o pH, aumenta a disponibilidade de cálcio, magnésio, fósforo, potássio e alguns micronutrientes para as culturas (Fig. 53).

A aplicação e a incorporação do calcário devem ser realizadas com antecedência mínima de três meses. Assim, haverá tempo suficiente para que o corretivo, através do contato com as partículas do solo, reaja com a acidez do solo e proporcione um ambiente propício ao desenvolvimento da cultura. Tudo isso, na presença de água, imprescindível para a reação do calcário. As formas de aplicação e incorporação são aspectos que também devem ser considerados. O parcelamento em dois ou mais anos da dose de calcário calculada como necessária, não representa nenhuma vantagem, uma vez que não se estará criando, no primeiro ano, o ambiente propício para o melhor desenvolvimento da planta; o mesmo pode ocorrer nos anos seguintes, já que pode haver, devido aos agentes de acidificação do solo, alteração na quantidade de calcário.

Quanto à incorporação do corretivo, o melhor e mais eficiente método é o da aração, que permite a mistura entre o corretivo e o solo, até a profundidade de 20 cm. O pior e, infelizmente, o mais difundido método de incorporação é o da grade aradora (tipo Rome), que promove uma incorporação apenas superficial (primeiros 5-10 cm) do corretivo,

criando zonas de super calagem que podem ser tão ou mais prejudiciais às culturas do que a acidez do solo; isso ocorre através da diminuição da disponibilidade de alguns nutrientes ou por impedir o desenvolvimento do sistema radicular, em profundidades maiores, o que pode ser prejudicial em períodos de seca.

Em relação às quantidades e formas de incorporação, recomenda-se que doses até 5 t/ha de calcário sejam aplicadas, na sua totalidade, antes da aração; para doses acima de 5 t/ha recomenda-se a aplicação de metade da dose antes da aração e a outra metade após a aração e antes da gradagem.

A má distribuição e/ou a incorporação muito rasa do calcário (abaixo de 20 cm), pode causar ou agravar a deficiência de manganês, resultando em queda de produtividade.

6.2.1 Qualidade e uso do calcário

A escolha do corretivo vai depender dos resultados da análise do solo. Determinações do pH, Al, Ca, Mg, H+Al vai indicar o caminho a seguir na escolha do calcário adequado.

Em solos que contenham menos de $0,8 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ de Mg, deve ser dada preferência para materiais que contenham o magnésio (calcário dolomítico e/ou magnesiano), a fim de evitar que ocorra um desequilíbrio entre os nutrientes. Como os calcários dolomíticos encontrados no mercado contêm teores de magnésio elevados, deve-se acompanhar a evolução dos teores de Ca e Mg no solo e, caso haja desequilíbrio, pode-se aplicar calcário calcítico (<5,0% MgO) para aumentar a relação Ca/Mg.

O calcário deverá apresentar teores de $\text{CaO} + \text{MgO} > 38\%$, dando preferência ao uso de calcário dolomítico ($> 12,0\% \text{ MgO}$) ou magnesianos (entre 5,1% e 12,0% MgO), em solos com relação Ca/Mg $> 3/1$.

Para que a calagem atinja os objetivos de neutralização do alumínio trocável e/ou de elevação dos teores de cálcio e magnésio e do pH, a qualidade do calcário é uma condição básica que deve ser observada na escolha.

6.2.1.1 Eficiência Relativa (ER%)

Através da granulometria se calcula a Eficiência Relativa do calcário (ER%). As peneiras usadas para determinar essa propriedade do calcário são as de 10, 20 e 60 mesh.

Para o cálculo, considera-se que a quantidade que é retida na peneira 10 tem 0% de eficiência, na de 20 com 20% de eficiência, 60% retida na peneira 60 e 100% para o que vai ao fundo. Então, se um calcário tem 80% que passou ao fundo, 13% retido na peneira 60, 4% retido na peneira 40 e 3% na de 20, o cálculo será:

$$ER\% = [(80 \times 1) + (13 \times 0,6) + (4 \times 0,2) + (3 \times 0)] = 88,6\%$$

6.2.1.2 Valor de Neutralização (VN%)

O Valor de Neutralização ou equivalente em carbonato de cálcio é a medida química da reação do material e vai depender do conteúdo de cálcio e magnésio no corretivo. O carbonato de cálcio puro é o padrão, em relação ao qual são medidos os outros materiais utilizados na calagem, sendo seu valor considerado 100%. Para calcular o VN% de um calcário, deve-se multiplicar CaO por 1,79 e o MgO por 2,50, que são os equivalentes em CaCO_3 .

Ex: para um calcário com 37% de CaO e 11% de MgO (calcário magnésiano < 12% de MgO), calcula-se assim:

$$VN\% = (37 \times 1,79) + (11 \times 2,50) = 66,23\% + 27,50\% = 93,73\%$$

Conforme a legislação, o calcário deverá apresentar teores de $\text{CaO} + \text{MgO} > 38\%$. A legislação não menciona quanto deve ter de CaO ou de MgO, isoladamente.

Dar preferência ao uso de calcário dolomítico ($> 12,0\%$ MgO) ou magnésiano (entre 5,1% e 12,0% MgO), em solos com larga relação Ca/Mg ($> 3/1$).

Na escolha do corretivo, em solos que contenham menos de $0,8 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ de Mg, deve ser dada preferência para materiais que contenham maior percentagem de magnésio (calcário dolomítico e ou magnesiano) a fim de evitar que ocorra um desequilíbrio entre os nutrientes. Como os calcários dolomíticos encontrados no mercado contém teores de magnésio elevados, deve-se acompanhar a evolução dos teores de Ca e Mg no solo e, caso haja desequilíbrio, pode-se aplicar calcário calcítico (<5,0% MgO) para aumentar a relação Ca/Mg.

Por isso, a escolha de qual o calcário a se usar, vai depender dos teores de Ca e Mg no solo.

6.2.1.3 Poder Relativo de Neutralização Total-PRNT

Conhecendo-se o valor de neutralização de um corretivo e a distribuição do tamanho das partículas, pode-se calcular a sua eficiência total, que se denomina de PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total). Este valor dá, segundo Volkweiss & Ludwick (1969), a ação do calcário sobre a acidez do solo, num período de três anos, aproximadamente. O cálculo do PRNT é feito segundo a fórmula:

$$\text{PRNT}\% = (\text{VN}\% \times \text{ER}\%) / 100$$

Tomando-se os valores calculados acima, obtém-se:

$$\text{PRNT}\% = (93,73 \times 88,6) / 100 = 83,07\%$$

Sempre que se calcula a quantidade de calcário a se aplicar, por qualquer método, deve-se levar em consideração esse valor. Se o método de cálculo indicar que a necessidade desse calcário é de 3 t/ha, tem-se:

$$t/ha = 3 / (83,07 / 100) = 3 / 0,8307 = 3,61 \text{ t/ha}$$

6.2.2 Recomendação para o Rio Grande do Sul e Santa Catarina (SBCS-NRS, 2004 e RPSRS, 2006)

6.2.2.1 Calagem em solos sob preparo convencional

No sistema de preparo convencional de solo (aração e gradagem), o calcário deve ser incorporado uniformemente, até a profundidade de 17 a 20cm, conforme critérios estabelecidos na Tabela 18.

Quando a quantidade de corretivo indicada na Tabela 19 é aplicada integralmente, o efeito residual da calagem perdura por cerca de cinco anos, dependendo de fatores como manejo do solo, quantidade de N aplicada nas diversas culturas, erosão hídrica e outros fatores. Após esse período indica-se realizar nova análise de solo para quantificar a dose de corretivo necessária.

6.2.2.2 Calagem em áreas manejadas sob sistema de semeadura direta

Antes da implantação do sistema direta, em solos manejados sob preparo convencional ou campo natural com índice SMP $\leq 5,0$, recomenda-se corrigir a acidez do solo da camada arável (17-20cm) mediante incorporação de corretivo. A dose a ser usada é função de vários critérios, conforme indicado nas Tabelas 18 e 19.

No caso de solos de campo natural, a eficiência da calagem superficial depende muito da acidez potencial do solo (maior em solos argilosos), da disponibilidade de nutrientes, do tempo transcorrido entre a calagem e a semeadura de soja e da quantidade de precipitação pluvial. Por essa razão, sugere-se que o corretivo seja aplicado seis meses antes da semeadura de soja e cultivada, em linha, uma cultura de inverno.

Em solos sob semeadura direta consolidada e que receberam corretivo recentemente, ou quando a análise indicar que um dos critérios de decisão de calagem (pH em água, saturação por bases) não foi atingido, a aplicação

TABELA 18. Critérios para a indicação da necessidade e da quantidade de corretivo da acidez, para culturas de grãos.

| Sistema de manejo do solo | Condição da área | Amostragem | Critério de decisão | Quantidade de Calcário ¹ | Métodos de aplicação |
|---------------------------|---|------------|-----------------------------------|-------------------------------------|--|
| Convencional | Qualquer condição | 0-20 | pH < 6,0 (2) | 1SMP para pH água 6,0 | Incorporado |
| | Implantação a partir de lavoura ou campo natural, quando o índice SMP for ≤ 5,0 | 0-20 | pH < 6,0 (2) | 1SMP para pH água 6,0 | Incorporado |
| Semeadura Direta | Implantação a partir de campo natural quando o índice SMP estiver entre 5,1 e 5,5 | 0-20 | pH < 5,5 (2) ou V < 65% (3) | 1SMP para pH água 5,5 | Incorporado(4) ou Superficial(5) |
| | Implantação a partir de campo natural quando o índice SMP for > 5,5 | 0-20 | pH < 5,5 (2) ou V < 65% (3) | 1SMP para pH água 5,5 | Superficial |

(1) *Corresponde à quantidade de calcário estimada pelo índice SMP, em que 1 SMP é equivalente à dose de calcário para atingir o pH em água desejado, na camada de 0 a 20 cm, conforme Tabela 19.*

(2) *Não aplicar calcário quando a saturação por bases (V) for > 80%.*

(3) *Quando somente um dos critérios for atendido, não aplicar calcário se a saturação por Al for menor do que 10% e se o teor de P for "Muito alto".*

(4) *A opção de incorporar o calcário, em campo natural, deve ser feita com base nos demais fatores de produção locais. Se optar pela incorporação do calcário, aplicar a dose 1 SMP para pH água 6,0.*

(5) *No máximo aplicar 5 t/ha de calcário (PRNT 100%).*

Fonte: SBRS-NRS, 2004. e RPSRS, 2006

TABELA 19. Indicações de calcário (PRNT 100%), em função do pH SMP para correção da acidez dos solos do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, visando elevar o pH do solo em água para 5,5 ou 6,0.

| Índice pH SMP | pH em água desejado | | Índice pH SMP | pH em água desejado | |
|------------------|---------------------|------|------------------|---------------------|-----|
| | 5,5 | 6,0 | | 5,5 | 6,0 |
| | t/ha | | | t/ha | |
| <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 | | | |

Fonte: SBSC-NRS, 2004 e RPSRS, 2006.

de corretivo não necessariamente aumentará o rendimento da cultura de soja. Isso decorre do fato de o 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.

As recomendações de calagem, atualmente existentes, variam conforme a meta do pH em água a atingir e são função direta das características particulares de cada cultivo, ou da condição de manejo ao qual está submetido. As quantidades de calcário a serem utilizadas variam conforme o índice do pH SMP (Tabela 19).

A aplicação dessa tabela é direta: índice SMP na análise do solo x t/ha de calcário.

As recomendações de calagem assumem corretivos com PRNT (Poder Relativo de Neutralização Total) equivalente a 100%. Isto significa que as quantidades totais a aplicar devem ser reajustadas em função do PRNT do material disponível.

6.2.3 Recomendação para os demais estados

6.2.3.1 Saturação de bases

A determinação da quantidade de calcário a ser aplicada em uma área é obtida através do método da elevação da saturação por bases, que se fundamenta na correlação positiva existente entre os valores de pH e o teor de H+Al em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$.

O cálculo da necessidade de calcário (NC) é feito através da seguinte fórmula:

$$\text{NC (t/ha}^{-1}\text{)} = (V_2 - V_1) \times T \times f / 100$$

onde:

V_1 = valor da saturação por bases trocáveis do solo, em porcentagem, antes da correção. ($V_1 = 100 \text{ S/CTC}$) sendo:

$$S = \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ \text{ (cmol}_c \text{ dm}^{-3}\text{);}$$

V_2 = valor da saturação por bases trocáveis do solo, adequada à soja (70%, 60% ou 50%);

T = capacidade de troca de cátions, $\text{CTC} = S + [\text{H}+\text{Al}^{3+}] \text{ (cmol}_c \text{ dm}^{-3}\text{);}$

f = fator de correção do PRNT do calcário = $100/\text{PRNT}$

PRNT = poder relativo de neutralização total (%)

O valor adequado da saturação por bases é variável para cada região, de acordo com as propriedades químicas dos solos predominantes e que determinam os maiores rendimentos econômicos.

Nas áreas tradicionais de cultivo de soja, no Estado do Paraná, utiliza-se V_2 igual a 70%; para os Estados de São Paulo (Mascarenhas & Tanaka, 1996) e do Mato Grosso do Sul, o valor é 60%. Na região do arenito Caiuá, no Noroeste do PR (Correção..., 2006), e nos demais estados da Região Central, com predominância de solos formados sob vegetação de Cerrado e ricos em óxidos de Fe e de Al (Sousa & Lobato, 1996) ou em solos com menos de 40% de argila, o valor adequado de saturação é de 50%.

Essa diferenciação está diretamente relacionada à CTC dos solos, a qual determina a relação pH x V% (Rajj, 1991) e, também, à limitação da produtividade da cultura por deficiências dos micronutrientes Zn, Cu e Fe e, principalmente, Mn, induzida pela elevação do pH do solo e comum nas áreas do Cerrado (Sousa & Lobato, 1996).

A Fig.54 ilustra bem a razão dos níveis de saturação por bases (V%), para os solos do Cerrado e do Paraná.

Esse método é utilizado em todo o Brasil, com exceção do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, com algumas alterações, dependendo do tipo de solo de cada região.

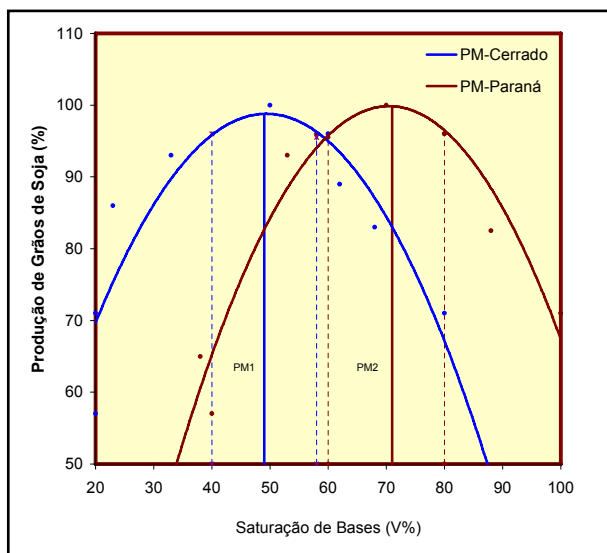


Fig.54. Produção Relativa de grãos de soja (%) em função da Saturação de Bases, no Estado do Paraná e nos Cerrados

6.2.3.2 Neutralização do Al^{3+} e suprimento de Ca^{2+} e Mg^{2+}

Este método considera, em sua fórmula de cálculo, a necessidade de neutralização do Al^{3+} e a elevação e o suprimento de Ca^{2+} e de Mg^{2+} e é particularmente adequado para solos sob vegetação de Cerrado, nos quais ambos os efeitos são importantes.

O cálculo da necessidade de calagem (NC) é feito através da seguinte fórmula:

$$NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = Al^{3+} \times 2 + [2 - (Ca^{2+} + Mg^{2+})] \times f$$

onde:

f = fator de correção do PRNT do calcário = $100/PRNT$

Quando se tratar de solos arenosos (teor de argila menor que 20%), a quantidade de calcário a ser utilizada (NC) é dada pelo maior valor encontrado de uma destas duas fórmulas:

$$NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = (Al^{3+} \times 2) \times f$$

$$NC \text{ (t ha}^{-1}\text{)} = [2 - (Ca^{2+} + Mg^{2+})] \times f$$

onde:

f = fator de correção do PRNT do calcário = $100/PRNT$

6.2.4 Calagem no sistema de semeadura direta

Preferencialmente, pelo menos três meses antes de iniciar o primeiro cultivo no sistema de semeadura direta, indica-se corrigir integralmente a acidez do solo, sendo esta etapa fundamental para a adequação a este sistema. O corretivo, numa quantidade para atingir a saturação de bases em 70%, 60% ou 50%, deve ser incorporado, uniformemente, na camada arável do solo, ou seja, até 20 cm de profundidade.

Essa situação é recomendada, preferencialmente, em áreas sob pastagens cultivadas, sem registro de aplicação anterior de calcário, ou quando as disponibilidades de cálcio e magnésio forem muito reduzidas e a concentração de alumínio trocável for elevada.

Após a implementação da semeadura direta, os processos de acidificação do solo irão ocorrer e, depois de algum tempo, será necessária a correção da acidez. Para a identificação da necessidade de calagem, o solo sob semeadura direta, já implantada de maneira correta, deve ser amostrado na profundidade de 0 a 20 cm, podendo-se aplicar até 1/3 da quantidade indicada, a lanço, na superfície, pelo menos seis meses antes da semeadura.

Para solos sob semeadura direta que já receberam calcário na superfície, a amostragem do solo deve ser realizada de 0 a 10 e 10 a 20 cm de profundidade. Portanto, em solos que já receberam calcário em superfície, sugere-se que para o cálculo da recalagem sejam utilizados os valores médios das duas profundidades, aplicando-se até 1/3 da quantidade de calcário indicada, evitando-se aplicar doses superiores a 2 t ha⁻¹.

6.2.5 Correção da acidez sub-superficial

Os solos do Brasil Central podem apresentar problemas de acidez sub-superficial, uma vez que nem sempre é viável a incorporação do calcário. Assim, camadas mais profundas do solo (abaixo de 20 cm) podem continuar com excesso de alumínio tóxico, mesmo quando tenha sido efetuada uma calagem considerada adequada. Essa condição limita o desenvolvimento do sistema radicular da soja em profundidade, que é uma característica determinante para diminuir a tolerância à seca e a promoção da ciclagem de nutrientes. A aplicação de gesso agrícola diminui a toxidez por alumínio e aumenta a disponibilidade de cálcio e de enxofre, resultando num ambiente menos limitante para o desenvolvimento do sistema radicular das plantas (Pavan e Volkweiss, 1986).

O gesso deve ser utilizado em áreas onde a análise de solo, na profundidade de 20 cm a 40 cm, indicar a saturação de alumínio maior que 10% ou quando o nível de cálcio for inferior a $0,5 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Para evitar a lixiviação de K e de Mg, por excesso de aplicação, a recomendação de gesso agrícola deve considerar a classificação textural do solo, aplicando-se a lanço, 700, 1200, 2200 e 3200 kg ha^{-1} para solos de textura arenosa (< 15% de argila), média (15 a 35% de argila), argilosa (35 a 65% de argila) e muito argilosa (> 65% de argila), respectivamente.

7

Recomendação de Adubação para a Soja, no Brasil (Correção..., 2006)

Em função da elevada variação na disponibilidade de nutrientes nos solos, a necessidade de correção ou manutenção da fertilidade de uma área deve ser determinada com base nas informações das análises químicas do solo e das folhas e no histórico do seu uso, considerando o sistema de cultivo e rotação de culturas, o manejo da fertilidade, os possíveis registros de ocorrência de sintomas de desequilíbrio nutricional e as produtividades dos cultivos anteriores.

Os problemas nutricionais são reflexos do manejo da fertilidade dos solos, mas influenciados, diretamente, pelas condições de desenvolvimento das plantas, que envolvem os fatores climáticos, as práticas culturais e a ocorrência de plantas daninhas, pragas ou doenças.

A recomendação de adubação para a cultura da soja baseia-se na fertilidade atual do solo, que identifica o potencial de resposta aos nutrientes para cada ecossistema, por um sistema de classes de interpretação da disponibilidade. Assim, os nutrientes são aplicados de maneira variável, de acordo com o grau de limitação de sua disponibilidade no solo.

Nos solos com teores baixos e muito baixos de nutrientes, é necessária a adubação de correção para elevar sua disponibilidade, enquanto que nos solos com teores médios a altos, devem ser aplicadas apenas as quantidades suficientes para repor as perdas com a exportação através dos grãos.

7.1 Nitrogênio

O nitrogênio (N) é o nutriente requerido em maior quantidade pela cultura da soja. Estima-se que para produzir 1000 kg de grãos são necessários 83 kg de N.

Basicamente, as fontes de N disponíveis para a cultura da soja são os fertilizantes nitrogenados e a fixação biológica do nitrogênio (FBN) (Hungria et al., 2001). Contudo, a fixação biológica do nitrogênio (FBN) é a principal fonte de N para a cultura da soja, não havendo necessidade de se utilizar este nutriente na adubação. Bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, quando em contato com as raízes da soja, infectam as raízes, via pêlos radiculares, formando os nódulos. A eficiência deste processo depende da utilização correta de inoculantes contendo bactérias específicas para a FBN com a soja.

É indispensável o fornecimento de 2 a 3 g ha⁻¹ de cobalto (Co) e de 12 a 30 g ha⁻¹ de molibdênio (Mo) que são nutrientes essenciais para a FBN e, também, o Mo é essencial para a redução de nitrato a amônio na planta (Sfredo et al., 1997). A aplicação destes micronutrientes pode ser realizada via semente ou via foliar, nos estádios de desenvolvimento V3 a V5.

7.2 Adubação fosfatada e potássica

A adição e/ou reposição de P e K tem como objetivo a obtenção de produtividades altas, as mais próximas possíveis do potencial produtivo de cada espécie. Para isso, deve-se estabelecer as doses a serem adicionadas e os níveis críticos, de cada nutriente, para se obter a produtividades que gerem o maior retorno econômico. Com esse pensamento, no final da década de 1960, promoveram-se mudanças na filosofia de adubações no Sul do País.

Surge aí, então, a filosofia da “Adubação de Correção”, no Brasil.

Essa “Adubação de Correção”, teoricamente, visa a saturação dos sítios de adsorção de fosfatos e de troca de cátions no solo, de P e K, respectivamente. Desse modo, o solo estaria “corrigido” com esses nutrientes.

Após essa correção do solo, é efetuada uma adubação, somente para repor a quantidade de nutrientes extraídos pelas plantas cultivadas (Tabela 2), o que evitaria que os níveis alcançados, com a correção, baixassem novamente.

A essa reposição, deu-se o nome de “Adubação de Manutenção”.

A recomendação de adubação com fósforo e potássio é função da exigência da cultura, da textura do solo e da disponibilidade dos nutrientes, nos solos.

Para atender as particularidades regionais, a recomendação de adubação PK é apresentada por estado/região, com base em estudos de calibração e de resposta à adubação.

7.2.1 Região do Cerrado (Sousa & Lobato, 1996).

7.2.1.1 Adubação fosfatada

A indicação da quantidade de nutrientes, principalmente em se tratando de adubação corretiva, é feita com base nos resultados da análise do solo.

Na Tabela 20 são apresentados os teores de P extraível, obtidos pelo método Mehlich I e a correspondente interpretação, que varia em função dos teores de argila.

Duas proposições são apresentadas para a indicação de adubação fosfatada corretiva: a) a correção do solo de uma só vez (total) a lanço e incorporada a 20 cm de profundidade, com posterior manutenção do nível de fertilidade atingido e; b) a correção gradual, que pode ser utilizada quando não há a possibilidade de realização da correção do solo total. Essa prática consiste em aplicar, no sulco de semeadura, uma quantidade de P superior à extração da cultura, de modo a acumular, com o passar do tempo, o excedente e atingindo, após alguns anos, a disponibilidade de P desejada. Ao utilizar as doses de adubo fosfatado sugeridas na Tabela 21, espera-se que, num período máximo de seis anos, o solo apresente teores de P em torno do nível crítico.

Quando o nível de P estiver classificado como Médio ou Bom (Tabela 20), usar somente a adubação de manutenção, que corresponde a 20 kg de P_2O_5 ha⁻¹, para cada 1000 kg de grãos de soja produzidos.

TABELA 20. Interpretação de análise de solo para indicação de adubação fosfatada (fósforo extraído pelo método Mehlich I), para solos de Cerrado.

| Teor de argila (%) | Teor de P (mg dm ⁻³) | | | |
|--------------------|----------------------------------|--------------------|---------|------|
| | Muito baixo | Baixo ¹ | Médio | Bom |
| > 60 | ≤ 1 | 1 a 2 | 2 a 3 | > 3 |
| 40 a 60 | ≤ 3 | 3 a 6 | 6 a 8 | > 8 |
| 20 a 40 | ≤ 5 | 5 a 10 | 10 a 14 | > 14 |
| ≤ 20 | ≤ 6 | 6 a 12 | 12 a 18 | > 18 |

Fonte: Sousa & Lobato (1996).

¹Ao atingir níveis de P extraível acima dos valores estabelecidos nesta classe, utilizar somente adubação de manutenção.

TABELA 21. Indicação de adubação fosfatada corretiva, a lanço e adubação fosfatada corretiva gradual no sulco de semeadura, de acordo com a classe de disponibilidade de P e o teor de argila, para solos de Cerrado.

| Teor de argila (%) | Adubação fosfatada (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹) ¹ | | | |
|--------------------|--|----------------------|--------------------------------|----------------------|
| | Corretiva total ² | | Corretiva gradual ³ | |
| | P muito baixo ⁴ | P baixo ⁴ | P muito baixo ⁴ | P baixo ⁴ |
| > 60 | 240 | 120 | 100 | 90 |
| 40 a 60 | 180 | 90 | 90 | 80 |
| 20 a 40 | 120 | 60 | 80 | 70 |
| ≤ 20 | 100 | 50 | 70 | 60 |

Fonte: Sousa & Lobato (1996).

¹ Fósforo solúvel em citrato de amônio neutro mais água, para os fosfatos acidulados; solúvel em ácido cítrico 2% (relação 1:100); para termofosfatos, fosfatos naturais e escórias.

² Além da dose de correção total, usar adubação de manutenção.

³ No sulco de semeadura, em substituição à adubação de manutenção.

⁴ Classe de disponibilidade de P, ver Tabela 20.

7.2.1.2 Adubação potássica

A indicação para adubação corretiva com potássio, de acordo com a análise do solo, é apresentada na Tabela 22. Essa adubação deve ser feita a lanço, em solos com teor de argila maior que 20%. Em solos de textura arenosa (<20% de argila), não se deve fazer adubação corretiva de potássio, devido às acentuadas perdas por lixiviação.

Na semeadura da soja, como manutenção, aplicar 20 kg de K₂O para cada 1.000 kg de grãos que se espera produzir.

Nas dosagens de K₂O acima de 50 kg ha⁻¹, ou quando o teor de argila for <40%, fazer a adubação de 1/3 da quantidade total indicada na semeadura e 2/3 em cobertura, 20 ou 30 dias após a germinação, respectivamente, para cultivares de ciclo mais precoce e mais tardio.

TABELA 22. Adubação corretiva de potássio para solos de Cerrado com teor de argila >20%, de acordo com dados de análise de solo.

| Teores de K extraível | | Adubação indicada (kg ha ⁻¹ de K ₂ O) ¹ |
|-----------------------|------------------------|---|
| mg dm ⁻³ | cmolc dm ⁻³ | |
| ≤25 | ≤0,06 | 100 |
| 25 a 50 | 0,06 a 0,13 | 50 |
| >50 | >0,13 | 0 |

Fonte: Sousa & Lobato (1996).

¹ Aplicação parcelada de 1/3 na semeadura da soja e 2/3 em cobertura, 20 a 30 dias após a semeadura.

Estando o nível de K extraível acima do valor crítico (50 mg dm⁻³ ou 0,13 cmolc dm⁻³), indica-se a adubação de manutenção de 20 kg de K₂O para cada tonelada de grão a ser produzida.

7.2.2 Estado de Minas Gerais (Ribeiro et al., 1999)

Na Tabela 23, são apresentadas as classes de interpretação da disponibilidade, para fósforo, de acordo com o teor de argila do solo ou com o valor de fósforo remanescente e, ainda, para potássio.

TABELA 23. Classes de interpretação da disponibilidade para fósforo de acordo com o teor de argila do solo ou com o valor de fósforo remanescente (P-rem) e para potássio.

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

¹ Método Mehlich 1.

² mg dm⁻³ = ppm (m/v).

³ 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⁻¹, contendo 60 mg L⁻¹ de P, na relação 1:10.

⁴ O limite superior desta classe indica o nível crítico.

Ribeiro et al. (1999).

Na Tabela 24, são indicadas as doses de P e K a serem aplicadas de acordo com os níveis destes nutrientes no solo da Tabela 23.

A interpretação da disponibilidade de enxofre (S), conforme o teor de P remanescente, encontra-se na Tabela 25.

TABELA 24. Adubação com P e K, para uma produtividade de 3.000 kg de grãos.

| Disponibilidade de P ¹ | | | Disponibilidade de K ¹ | | |
|---|-------|-----|--|-------|-----|
| Baixa | Média | Boa | Baixa | Média | Boa |
|kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ | | | kg ha ⁻¹ de K ₂ O ² | | |
| 120 | 80 | 40 | 120 | 80 | 40 |

¹ Utilizar os critérios para interpretação da fertilidade do solo apresentados na Tabela 23.

² Não aplicar no sulco, em uma única vez, quantidade superior a 50 kg ha⁻¹.

Ribeiro et al. (1999).

TABELA 25. Classes de interpretação da disponibilidade para o enxofre¹ de acordo com o valor de fósforo remanescente (P-rem).

| P-rem | Classificação | | | | |
|-------|--|----------|--------------------|-----------|-----------|
| | Muito baixo | Baixo | Médio ² | Bom | Muito bom |
| mg L |(mg dm ⁻³) ³ | | | | |
| | Enxofre disponível (S) | | | | |
| 0-4 | < 1,8 | 1,8-2,5 | 2,5-3,6 | 3,6-5,4 | > 5,4 |
| 4-10 | < 2,5 | 2,5-3,6 | 3,6-5,0 | 5,0-7,5 | > 7,5 |
| 10-19 | < 3,4 | 3,4-5,0 | 5,0-6,9 | 6,9-10,3 | > 10,3 |
| 19-30 | < 4,7 | 4,7-6,9 | 6,9-9,4 | 9,4-14,2 | > 14,2 |
| 30-44 | < 6,5 | 6,5-9,4 | 9,4-13,0 | 13,0-19,6 | > 19,6 |
| 44-60 | < 9,0 | 9,0-13,0 | 13,0-18,0 | 18,0-27,0 | > 27,0 |

¹ Método Hoefl et al., 1973 (Ca(H₂PO₄)₂, 500 mg L⁻¹ de P, em HOAc 2 mol L⁻¹).

² Esta classe indica os níveis críticos de acordo com o valor de P-rem.

³ mg dm³ = ppm (m/v).

Ribeiro et al. (1999).

7.2.3 Estado de São Paulo (Mascarenhas & Tanaka, 1996)

Na Tabela 26, constam as doses de P e K a serem aplicadas e que variam com a análise do solo e a produtividade esperada.

TABELA 26. Adubação mineral de semeadura para o Estado de São Paulo.

| Produtividade esperada ¹ | P resina, mg dm ⁻³ | | | | K ⁺ trocável, mmolc dm ⁻³ | | | |
|-------------------------------------|---|--------|---------|------|---|-----------|-----------|-------|
| | < 7 | 7 a 16 | 16 a 40 | > 40 | < 0,8 | 0,8 a 1,5 | 1,5 a 3,0 | > 3,0 |
| t ha ⁻¹ | P ₂ O ₅ , kg ha ⁻¹ | | | | K ₂ O, kg ha ⁻¹ | | | |
| < 2,0 | 50 | 40 | 30 | 20 | 60 | 40 | 20 | 0 |
| 2,0 a 2,5 | 60 | 50 | 40 | 20 | 70 | 50 | 30 | 20 |
| 2,5 a 3,0 | 80 | 60 | 40 | 20 | 70 | 50 | 50 | 20 |
| 3,0 a 3,5 | 90 | 70 | 50 | 30 | 80 | 60 | 50 | 30 |
| > 3,5 | – | 80 | 50 | 40 | 80 | 60 | 60 | 40 |

Fonte: Mascarenhas & Tanaka, 1996.

7.2.4 Estados de Santa Catarina e do Rio Grande do Sul (SBCS-NRS, 2004 e RPSRSul, 2006)

No Rio Grande do Sul, e em Santa Catarina, as quantidades de fertilizantes contendo P e K, a aplicar, variam em função dos teores destes nutrientes no solo e da classe textural do solo (Tabelas 27 e 28).

O limite superior do teor “Médio”, é considerado o nível crítico de P e de K, no solo, a partir do qual é esperado pouco incremento no rendimento com a aplicação de fertilizante contendo estes nutrientes.

7.2.5 Estado do Paraná (Correção...,2006)

As doses de fósforo e potássio são aplicadas de maneira variável, conforme as classes de teores no solo (Tabela 29), para solos com teor de argila >40%.

TABELA 27. Interpretação dos teores de fósforo e de potássio no solo - RS/SC. 2007.

| Interpretação do teor de P no solo | P Mehlich-I | | P-resina | | K Mehlich-I |
|------------------------------------|--------------------------------------|-----------|-----------|---|-------------|
| | Classe textural do solo ¹ | em lâmina | em lâmina | CTC pH 7,0 cmol _c dm ⁻³ | |
| > 60% | 41%-60% | 21%-40% | < 20% | | ≤ 5,0 |
| | -----mg P dm ⁻³ ----- | | | | 5,1-15,0 |
| Muito Baixo | ≤ 2,0 | ≤ 3,0 | ≤ 4,0 | ≤ 7,0 | ≤ 15 |
| Baixo | 2,1-4,0 | 3,1-6,0 | 4,1-8,0 | 7,1-14 | 16-30 |
| Médio | 4,1-6,0 | 6,19,0 | 8,1-12,0 | 14,1-21,0 | 31-45 |
| Alto | 6,1-12,0 | 9,1-18,0 | 12,1-24,0 | 21,1-42,0 | 46-90 |
| Muito Alto | > 12,0 | > 18,0 | > 24,0 | > 42,0 | > 90 |

¹ Teor de argila: classe 1: >60%; classe 2: 60-41%; classe 3: 40-21%; classe 4: ≤20%.
Fonte: SBSCS-NRS, 2004 e RPSRSul, 2006.

TABELA 28. Doses de fósforo e de potássio para a cultura de soja, no RS/SC.

| Interpretação | Doses de fósforo (kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹) | | Doses de potássio (kg K ₂ O ha ⁻¹) | |
|--------------------|---|------------|---|------------|
| | 1º cultivo | 2º cultivo | 1º cultivo | 2º cultivo |
| Muito Baixo | 110 | 70 | 125 | 85 |
| Baixo | 70 | 50 | 85 | 65 |
| Médio ² | 60 | 30 | 75 | 45 |
| Alto | 30 | 30 | 45 | 45 |
| Muito Alto | 0 | ≤ 30 | > 24,0 | ≤ 45 |

Para rendimento superior a 2 t ha⁻¹, acrescentar 15 kg P₂O₅ t⁻¹ e 25 kg K₂O t⁻¹ aos valores da tabela, por tonelada adicional de grãos a ser produzida.

Fonte: SBSCS-NRS, 2004 e RPSRSul, 2006.

Os resultados de pesquisa com relação às fontes de fósforo indicam que a dose de adubos fosfatados total (superfosfato triplo e superfosfato simples), ou parcialmente solúveis (fosfatos parcialmente acidulados), deve ser calculada considerando o teor de P_2O_5 solúvel em água + citrato neutro de amônio.

A adubação com potássio, nesses solos, pode ser feita toda a lanço, até 30 dias antes da semeadura, ou mesmo no sulco durante esta operação, limitado, neste caso, a doses inferiores a 80 kg de K_2O por hectare, devido aos danos por efeito salino que doses maiores de KCl podem causar às sementes.

TABELA 29. Indicação de adubação com fósforo e potássio para a soja no Estado do Paraná em solos com teor de argila >40%¹. (Sfredo, Lantmann e Borkert, 1999, modificada de Sfredo e Borkert, 1993).

| Análise do solo | | | Quantidade a aplicar | | |
|---------------------|----------------|------------------------|----------------------|--|---------------------------------|
| mg dm ⁻³ | | cmolc dm ⁻³ | kg ha ⁻¹ | | |
| P ² | K ² | K ² | N ³ | P ₂ O ₅ ^{4,6} | K ₂ O ^{5,6} |
| <3,0 | <40 | <0,10 | 0 | 100 | 90 |
| | 40 a 80 | 0,10 a 0,20 | 0 | 100 | 70 |
| | 80 a 120 | 0,20 a 0,30 | 0 | 100 | 50 |
| | >120 | >0,30 | 0 | 100 | 40 |
| 3,0 a 6,0 | <40 | <0,10 | 0 | 80 | 90 |
| | 40 a 80 | 0,10 a 0,20 | 0 | 80 | 70 |
| | 80 a 120 | 0,20 a 0,30 | 0 | 80 | 50 |
| | >120 | >0,30 | 0 | 80 | 40 |
| >6,0 | <40 | <0,10 | 0 | 60 | 90 |
| | 40 a 80 | 0,10 a 0,20 | 0 | 60 | 70 |
| | 80 a 120 | 0,20 a 0,30 | 0 | 60 | 50 |
| | >120 | >0,30 | 0 | 60 | 40 |

¹ Em solos com teor de argila <40%, usar as Tabelas 20 a 22.

² Extrator de P e K : Mehlich I.

³ O nitrogênio deve ser suprido através da inoculação.

⁴ Pode-se usar até 10 kg a menos do que o indicado na Tabela.

⁵ Quando o teor de K no solo for muito baixo, menor que 0,08 cmolc dm⁻³ ou 31 mg dm⁻³, fazer adubação corretiva com 140 kg ha⁻¹ de K₂O a lanço e incorporar com gradê, além da adubação de manutenção na semeadura, indicada na tabela acima.

⁶ Sempre que o valor indicado na tabela for menor que a dose de manutenção (20 kg/ha de P₂O₅ ou de K₂O por 1000 kg de grãos produzidos), usar esta dose.

7.2.6 Adubação fosfatada e potássica para a sucessão soja/trigo em solos originários de basalto, sob sistema de semeadura direta

A prática de semeadura direta confere ao solo um acúmulo de matéria orgânica e nutrientes, principalmente o fósforo, devido a sua baixa mobilidade no perfil, além deste não ser revolvido.

A partir dos resultados de vários trabalhos realizados em solos do Estado do Paraná, para a sucessão soja-trigo em sistema de semeadura direta (Lantman et al., 1996) foram disponibilizadas informações para o manejo da fertilidade em áreas com solos livres de alumínio tóxico, nas situações em que o cultivo de inverno (trigo, aveia, cevada ou milho safrinha) seja devidamente adubado.

Os níveis críticos de fósforo e potássio, e a necessidade da planta, oferecem um conjunto de informações importantes para a definição da quantidade de fertilizantes a serem usados nesse sistema, permitindo as seguintes indicações:

Para o sistema de sucessão soja/trigo-aveia-cevada-milho safrinha, em função da exigência da cultura do trigo, quando a concentração de fósforo estiver acima de $18,0 \text{ mg dm}^{-3}$, 14 mg dm^{-3} e 9 mg dm^{-3} , em solos com teor de argila <20%, de 20 a 40% e >40%, respectivamente, e o potássio estiver acima de $0,30 \text{ cmolc dm}^{-3}$, em todos os tipos de solo, em análise de solo à profundidade de 0-20cm, é possível suprimir a adubação com fósforo e potássio para a cultura da soja em sistema de plantio direto.

Para o monitoramento da fertilidade do solo, a análise do solo a cada dois anos é ferramenta fundamental para a tomada de decisão quanto à quantidade e à periodicidade das adubações.

A análise de solo deve ser obrigatória ao final do cultivo de soja, onde houve a supressão da adubação com fósforo e potássio.

Diante do exposto, a decisão final de adubar ou não a cultura da soja, após o cultivo de inverno adubado, fica a critério do técnico da Assistência Técnica, conhecedor do histórico da área a ser cultivada com soja.

7.2.7 Sugestões para o arenito de Caiuá

Não existem informações para a adubação da cultura da soja no arenito, por não ter sido, esta região, considerada apta para o cultivo intensivo de culturas anuais. Não se indica o cultivo de culturas anuais em solos com menos de 15% de argila, com exceção de onde se pratica a renovação de pastagens, pois estes solos arenosos são extremamente suscetíveis à erosão quando expostos à ação das chuvas, quando do preparo para a semeadura das culturas de grãos.

Quando há boa distribuição de chuvas durante o ano inteiro, esses solos devem ser cultivados com espécies de cobertura e proteção para obter grande quantidade de biomassa, cobrindo o solo e fazendo semeadura direta das culturas de grãos, tanto no verão quanto no inverno.

A sugestão de adubação para a soja, nesses solos, baseia-se numa extrapolação das indicações para a cultura em solos arenosos da região do Cerrado (item 7.2.1).

7.3 Adubação com enxofre (Sfredo et al., 2003)

O enxofre (S), geralmente fornecido na forma do íon sulfato (SO_4^{-2}), é um nutriente que devido à sua mobilidade, tende a se acumular na sub-superfície do solo. Assim, a avaliação da disponibilidade correta de enxofre, deve considerar a análise de solo em duas profundidades, 0 a 20 cm e 20 a 40 cm, devido à mobilidade do nutriente no solo e ao seu acúmulo na segunda camada, classificando-se a sua disponibilidade de acordo com a textura do solo. Os níveis críticos de S são 10 mg dm^{-3} e 35 mg dm^{-3} , para solos com teor de argila maior que 400 g kg^{-1} , e 3 mg dm^{-3} e 9 mg dm^{-3} , para solos com teor de argila menor ou igual a 400 g kg^{-1} , respectivamente nas profundidades 0 a 20 cm e 20 a 40 cm (Sfredo et al., 2003).

Considerando a absorção e a exportação do nutriente, a adubação de manutenção corresponde a 10 kg de S para cada 1.000 kg de produção de grãos esperada (Tabela 30). A adubação adicional com enxofre deve estar fundamentada na carência deste nutriente, comprovada por resultados de análises de solo e foliar

A Tabela 30 apresenta as quantidades recomendadas, de acordo com a classe de teores no solo. Os níveis críticos são 10 mg dm⁻³ e 35 mg dm⁻³, para solos argilosos (> 40% de argila) e 3 mg dm⁻³ e 9 mg dm⁻³ para solos arenosos (≤ 40% de argila), respectivamente nas profundidades 0 a 20 cm e 20 a 40 cm (Sfredo et al., 2003).

Considerando a absorção e a exportação do nutriente, a adubação de manutenção corresponde a 10 kg de S para cada 1.000 kg de produção de grãos de soja esperada.

A análise de folhas deve ser realizada, caso haja dúvidas com a análise de solo. A faixa de suficiência de S nas folhas varia de 2,1 a 4,0 g kg⁻¹ (Tabelas 3 e 4).

No mercado, encontram-se algumas fontes de enxofre, que são: gesso agrícola (15% de S), superfosfato simples (12% de S) e “flor” de enxofre ou enxofre elementar (98% de S). Além disso, há várias fórmulas N-P-K no mercado que contêm S.

TABELA 30. Indicação de adubação de correção e de manutenção com enxofre (S), conforme as faixas de teores de S no solo (mg dm⁻³), a duas profundidades no perfil do solo, para a cultura da soja, no Brasil. 2ª aproximação¹.

| Análise de S no solo ² | | | | | | | Quantidade de S a aplicar (kg ha ⁻¹) |
|-----------------------------------|---------|------------------------------|---------|-----------------------------|---------|---------------------|--|
| Faixas para interpretação | | Solo argiloso >40% de argila | | Solo arenoso ≤40% de argila | | | |
| Profundidade (cm) | | | | | | | |
| 0 a 20 | 20 a 40 | 0 a 20 | 20 a 40 | 0 a 20 | 20 a 40 | | |
|mg dm ⁻³ | | | | | | | |
| Baixo | Baixo | < 5 | < 20 | < 2 | < 6 | 80 + M ³ | |
| Baixo | Médio | < 5 | 20 a 35 | < 2 | 6 a 9 | 60 + M | |
| Baixo | Alto | < 5 | > 35 | < 2 | > 9 | 40 + M | |
| Médio | Baixo | 5 a 10 | < 20 | 2 a 3 | < 6 | 60 + M | |
| Médio | Médio | 5 a 10 | 20 a 35 | 2 a 3 | 6 a 9 | 40 + M | |
| Médio | Alto | 5 a 10 | > 35 | 2 a 3 | > 9 | M | |
| Alto | Baixo | > 10 | < 20 | > 3 | < 6 | 40 + M | |
| Alto | Médio | > 10 | 20 a 35 | > 3 | 6 a 9 | M | |
| Alto | Alto | > 10 | > 35 | > 3 | > 9 | M | |

¹ Sfredo et al., 2003.

² Métodos: Extração-Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 M L⁻¹; Determinação-Turbidimetria.

³ M=Manutenção: 10 kg para cada 1000 kg de produção de grãos esperada.

7.4 Adubação com micronutrientes

Como sugestão para interpretação de micronutrientes em análises de solo, com os extratores Mehlich-1 e DTPA e, Boro (B) pela Água quente, respectivamente, são apresentados os teores limites para a cultura da soja, nos solos do Paraná (Tabela 31) e nos solos do Cerrado (Tabela 32).

A indicação da aplicação de doses de micronutrientes no solo está contida na Tabela 33. Quando o teor de determinado micronutriente estiver acima do nível “Alto”, não aplicar o mesmo para prevenir possível toxicidade.

Esses elementos, de fontes solúveis ou insolúveis em água, são aplicados a lanço, desde que o produto satisfaça a dose indicada. O efeito residual desta indicação atinge, pelo menos, um período de cinco anos.

Para a reaplicação de qualquer micronutriente, indica-se a diagnose foliar como método de avaliação. A análise de folhas, para diagnosticar possíveis deficiências ou toxicidade de micronutrientes, em soja, constitui-se em instrumento efetivo para a indicação da correção, via adubação, de algum desequilíbrio nutricional (Tabelas 3 e 4). Porém, as correções só se viabilizam na próxima safra, considerando-se que, para as análises, a amostragem de folhas é indicada no período da floração, a partir do qual não é mais eficiente realizar qualquer correção de ordem nutricional.

A aplicação de micronutrientes, no sulco de semeadura, tem sido bastante utilizada pelos produtores. Neste caso, aplica-se 1/3 da indicação, a lanço, por um período de três anos sucessivos.

7.4.1. Adubação com cobalto e molibdênio

É indispensável o fornecimento de 2 a 3 g ha⁻¹ de cobalto (Co) e de 12 a 30 g ha⁻¹ de molibdênio (Mo), que são nutrientes essenciais para a FBN e, também, o Mo é essencial para a redução de nitrato a amônio, na planta (Sfredo et al., 1997). A aplicação desses micronutrientes pode ser realizada via semente ou via foliar, nos estádios de desenvolvimento V3 a V5.

TABELA 31. Limites para a interpretação dos teores de micronutrientes no solo, extraídos por dois métodos de análise, para a soja, nos solos do Paraná.

| Faixas | Métodos | | | | | | | |
|------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|---------|
| | água quente | | Mehlich I | | DTPA | | | |
| | B ¹ | Cu ² | Mn ³ | Zn ⁴ | Cu ² | Mn ³ | Zn ⁴ | Fe |
| Baixo | < 0,3 | < 0,8 | < 15 | < 0,8 | < 0,5 | < 1,2 | < 0,5 | < 5 |
| Médio | 0,3 - 0,5 | 0,8 - 1,7 | 15 - 30 | 0,8 - 1,5 | 0,5 - 1,1 | 1,2 - 5,0 | 0,5 - 1,1 | 5 - 12 |
| Alto | 0,5 - 2,0 | 1,7 - 10,0 | 31 - 100 | 1,5 - 10,0 | 1,1 - 7,0 | 5,0 - 20,0 | 1,1 - 10,0 | 12 - 30 |
| Muito Alto | > 2,0 | > 10,0 | > 100 | > 10,0 | > 7,0 | > 20,0 | > 10,0 | > 30 |

¹ Gallão (2002)

² Borkert et al., 2006 (a)

³ Sfredo et al., 2006 (c)

⁴ Borkert et al., 2006 (b)

TABELA 32. Limites para a interpretação dos teores de micronutrientes no solo, extraídos por dois métodos de análise, para culturas anuais, nos solos do Cerrado.

| Níveis | Métodos | | | | | | | |
|------------|-------------|----------|-----------|----------|---------|----------|----------|---------|
| | Água quente | | Mehlich I | | DTPA | | | |
| | B | Cu | Mn | Zn | Cu | Mn | Zn | Fe |
| Baixo | < 0,3 | < 0,5 | < 5,0 | < 1,1 | < 0,3 | < 1,0 | < 0,6 | < 5 |
| Médio | 0,3-0,5 | 0,5-0,8 | 5,0-10,0 | 1,1-1,6 | 0,3-0,8 | 1,0-2,0 | 0,6-1,2 | 5 - 12 |
| Alto | 0,5-2,0 | 0,8-10,0 | 10,0-30,0 | 1,6-10,0 | 0,8-7,0 | 2,0-10,0 | 1,2-10,0 | 12 - 30 |
| Muito Alto | > 2,0 | > 10,0 | > 30,0 | > 10,0 | > 7,0 | > 10,0 | > 10,0 | > 30 |

Fonte: - Mehlich I: Gallão, 2002.

- DTPA: Rajj et al., 1997.

- Mn: Sfredo et al., 2008.

TABELA 33. Indicação da aplicação de doses de micronutrientes no solo, para a cultura da soja¹.

| Teor | B | Cu | Mn | Zn |
|------------|---------------------|-----|-----|-----|
| | kg.ha ⁻¹ | | | |
| Baixo | 1,5 | 2,5 | 6,0 | 6,0 |
| Médio | 1,0 | 1,5 | 4,0 | 5,0 |
| Alto | 0,5 | 0,5 | 2,0 | 4,0 |
| Muito Alto | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |

Fonte: ¹ Sfredo et al., 2008, adaptado de Sfredo, Lantmann e Borkert (1999b).

7.5. Adubação foliar com macro e micronutrientes

No caso da deficiência de manganês (Mn), constatada através de exame visual, indica-se a aplicação de 350 g ha⁻¹ de Mn (1,5 kg de MnSO₄) diluído em 200 litros de água com 0,5% de uréia.

Na cultura da soja, essa prática não é indicada para outros macro ou micronutrientes.

8

Uso da Informática para Adubação e Nutrição de Soja

NutriFert (Sfredo & Lazzarotto, 2007)

Em 2004, foi editado, pela Equipe de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, da Embrapa Soja, o NutriFert, um CD-ROM que contém as recomendações das tecnologias de adubação e de calagem para a produção sojícola nacional. Com isso, a utilização e a interpretação de informações tornaram-se mais dinâmicas, facilitando o uso das recomendações técnicas.

Em 2007, houve alterações nas tecnologias contidas na 1ª edição e, por isso, o CD-ROM foi atualizado, ficando à disposição dos clientes da Embrapa Soja, que são os produtores e a assistência técnica da cultura da soja, em todo o Brasil.

Nesse mesmo CD, há, também, uma planilha com fotos e a descrição dos sintomas de deficiências de nutrientes na soja. Esta planilha vai auxiliar na identificação desses sintomas, quando estes aparecerem na lavoura.

9

Referências

BARBER, D.A.; SHONE M.G.T. The absorption of silica from aqueous solutions by plants. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 17, p. 569-578, 1966.

BARTLETT, R.J.; PICARELLI, C.J. Availability of boron and phosphorus as affected by liming an acid potato soil. **Soil Science**, v.116, n.2, p.77-83, 1973.

BEVILAQUA, G.A.P.; BROCH, D.L.; POSSENTI, J.C. Efeito da dose e da posição do fertilizante na absorção de nutrientes e no estabelecimento de plântulas de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.18, n.1, p.45-49., 1996.

BLOESCH, P.M.; BELL, L.C.; HUGHES, L.D. Adsorption and desorption of boron by goethite. **Australian Journal Soil Research**, v. 25, p.377-390, 1978.

BORBA, C. da S.; VIANNA, A.C.T.; POPINIGIS, F. Correção de acidez e adubação fosfatada e potássica em diferentes cultivares e populações de plantas de soja. II. Efeitos sobre a qualidade fisiológica das sementes produzidas. **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.16, n.2, p.247-60, 1980.

BORBA, C. da S.; VIANNA, A.C.T.; POPINIGIS, F. Efeito da adubação e da umidade do solo sobre a qualidade da semente de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). **Agronomia Sulriograndense**, Porto Alegre, v.17, n.1, p.51-68, 1981.

BORKERT, C.M. Ganhos em produtividade de culturas anuais com micronutrientes na Região Sul. In: CURSO DE FERTILIDADE DO SOLO EM PLANTIO DIRETO, 5., 2002, Colônia Vitória. **Resumos de palestras**. Passo Fundo: Aldeia Norte, 2002. p. 81-96.

BORKERT, C.M.; SFREDO, G.J.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA, F. A. de. Estabelecimento das relações entre Ca, Mg e K para soja, em solo de Cerrado. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 28., 2006, Uberaba. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja: Fundação Meridional: Fundação Triângulo, 2006a. p. 428-429 (Embrapa Soja. Documentos, 272). Organizado por Odilon Ferreira Saraiva, Regina M.V.B. de C. Leite, Janete Lasso Ortiz. (a)

BORKERT, C. M.; SFREDO, G. J.; OLIVEIRA, F. A. de; CASTRO, C. de; OLIVEIRA JUNIOR, A. de. Estimativa do nível crítico de zinco trocável para soja, em solos do Paraná. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 27.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 11.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 9.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 6., 2006, Bonito. **A busca das raízes: anais.** Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 82). 1 CD-ROM. (b)

BORKERT, C.M.; SFREDO, G.J.; OLIVEIRA JR, A. de; OLIVEIRA, F.Á. de; 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, 2006c. p. 426-427 (Embrapa Soja. Documentos, 272). Organizado por Odilon Ferreira Saraiva, Regina M.V.B. de C. Leite, Janete Lasso Ortiz. (c)

BRADY, N.C. **The nature and properties of soil.** 10.ed. New York: Macmillan, 1992, p. 179 – 200.

CAMARGO, C.P.; POPININGIS, F.; ELIAS NETO, J. O serviço de produção de sementes básicas no contexto da indústria brasileira de sementes. **Anuário Abrasem**, Brasília, DF, p. 8-10. 1983.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção.** Campinas: Fundação Cargill, 1983, 429p.

CAVALCANTE, J.J.V.; SILVEIRA, J.F.; VIEIRA, M.G.G.C. Influência de nitrogênio, fósforo, potássio e zinco na germinação de sementes de arroz. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília,DF, v.4, n.3, p.27-33. 1982.

CHADEL, A.S.; RAO, G.P.; SAXENA, S.C. Effect of sulfur nutrition on soybean (*Glycine max* L. Merrill). In: CONFERENCIA MUNDIAL DE INVESTIGACION EN SOJA, 4. Buenos Aires, 1989. **Actas**...Buenos Aires, AAS, 1989. p.363-368.

CORDEIRO, D.S.; SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; SARRUGE, J.R.; PALHANO, J.B.; CAMPO, R.J. Calagem, adubação e nutrição mineral. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Ecologia, manejo e adubação da soja**. Londrina, 1979. p.19-49. (EMBRAPA-CNPSO. Circular Técnica, 2).

CORREÇÃO e manutenção da fertilidade do solo. In: TECNOLOGIAS de produção de soja – região central do Brasil - 2008. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. p.85-109 (Embrapa Soja. Sistemas de Produção,12).

CRITTENDEM, H.; SVEC, L.V. Effect of potassium on the incidence of Diaportha sojae in soybean. **Agronomy Journal**, v.66, p.696-697. 1974.

ELLETT, C.W. Soil fertility and disease development. **Better Crops**, v.57, n.3, p.6-8, 1973.

EVANS, C.M.; SPARKS, D.L. On chemistry and mineralogy of boron in pure and mixed systems: a review. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.14, n.9, p.827-846, 1983.

FRANÇA NETO, J. de B.; COSTA, N.P. da; HENNING, A.A.;PALHANO, J.B.; SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M. Efeito de doses e métodos de aplicação de cloreto de potássio sobre a qualidade da semente de soja. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja **Resultados de pesquisa de soja 1984/85**. Londrina, 1985. p.294-301. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 15).

FRANÇA NETO, J. de B.; COSTA, N.P. da; HENNING, A.A.; SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; OLIVEIRA, M.C.N. de Efeito de doses e métodos de aplicação de cloreto de potássio sobre a qualidade de semente de soja. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja **Resultados de pesquisa de soja 1985/86**. Londrina, 1987. p.180-183. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 20).

FRANÇA NETO, J. de B.; SFREDO, G.J.; KRZYŻANOWSKI, F.C. Qualidade da semente de soja em função da relação Ca e Mg. In: EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. **Resultados de pesquisa de soja 1989/90**. Londrina, 1993. p.114-122. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 58)

FRANÇA NETO, J. de B.; SFREDO, G. J.; KRZYŻANOWSKI, F. C. Qualidade da semente de soja em função da relação Ca, Mg e K. In: Embrapa Soja. **Resultados de pesquisa de soja 1991/92**. Londrina, 1999. p.365-381. (Embrapa Soja. Documentos, 138).

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

GRIFFITH, W.K. Fertilizing for quality grains dollars. **Better Crops**, v.61, n.2, p.6-11. 1977.

GROTHGE-LIMA, M.T. **Interrelação cancro da haste (*Diaporthe phaseolorum f. sp. meridionalis*), nodulação (*Bradyrhizobium japonicum*) e silício em soja [*Glycine max (L.) merrill*]**. 1998. 58f. Tese (Doutorado), Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

HARRIS, H.C.; BROLMANN, J.B. Comparison of calcium and boron deficiencies of the peanut. II. Seed quality in relation to histology and viability. **Agronomy Journal**, Madison, v.58, n.6, p.578-582. 1966.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. de C. **Fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2001. 48 p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 35; Embrapa Cerrados. Circular Técnica, 13).

JEFFERS, D.L.; SCHMITTHENNER, A.F.; KROETZ, M.E. Potassium fertilization effects on phomopsis seed infection, seed quality and yield of soybeans. **Agronomy Journal**, v.74, p.886-89, 1982.

KIRALY, Z. Plant disease resistance as influenced by biochemical effects of nutrients in fertilizers. In: COLOQUIUM OF THE INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 12., 1976, Berne. **Fertilizer use and plot nealter**. Berne, 1976. p.33-46.

KURIHARA, C.H. **Demanda de nutrientes pela soja e diagnose de seu estado nutricional**. 2004. 101 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

LANTMANN, A.F.; PALHANO, J.B.; CAMPO, R.J.; SFREDO, G.J. **Efeitos da aplicação de enxofre na produção da soja em solos da região tradicional de soja 1981/82**. Londrina: s.n., 1982. p.61-63.

LANTMANN, A.F.; CAMPO, R.J.; SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M. **Micronutrientes para a cultura da soja no Estado do Paraná: zinco e molibdênio**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1985. 8p. (EMBRAPA-CNPSo. Comunidade Técnico, 34).

LANTMANN, A.F.; ROESSING, A.C.; SFREDO, G.J.; OLIVEIRA, M.C.N. de. **Adubação fosfatada e potássica para sucessão soja-trigo em latossolo roxo distrófico sob semeadura direta**. Londrina: Embrapa Soja, 1996. 44p. (Embrapa Soja. Circular Técnica, 15).

MASCARENHAS, H.A.A.; BATAGLI, O.C.; IGUE, T.; TISSELLI, O.F.; MIRANDA, M.A.C.; FERREIRA, A.W.P. **Efeito residual de adubação na produção da soja**. 2.ed. Campinas: IAC, 1981. 18p. (IAC. Boletim Técnico, 24).

MASCARENHAS, H.A.A.; TANAKA, R.T. Soja. In: In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, A.J.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2ed. Campinas: IAC, 1996. p. 202. (Boletim Técnico, 100).

MITCHELL, C.C.; DELANEY, D.; BALKCOM, K.S. Cullars rotation: the South's oldest continuous soil fertility experiment. **Better Crops**, Atlanta, v.89, n°. 4, p.5-9, 2005.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of soybean plants in a solution culture. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.31, p.625-636, 1985.

PAULETTI, V. Disponibilidade e resposta de culturas a micronutrientes no sistema plantio direto. In: PAULETTI, V.; SEGANFREDO, R. **Plantio direto**: atualização tecnológica. Castro: Fundação Cargill: Fundação ABC, 1999. p.71-95.

PAVAN, M.A.; VOLKWEISS, S.J. Efeitos do gesso nas relações solo-planta: princípios. In: SEMINÁRIO SOBRE O USO DO FOSFOGESSO NA AGRICULTURA, 1., 1985, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: EMBRAPA-DDT, 1986. p.107-118.

PEREIRA, L.A.G. **Comparisons of selected vigor tests for evaluating soybean seed quality**. 1974. 74f. Tese (Magister Scientie) - Mississippi State University.

PERRENOUD, S. **Potassium and plant health**. Berne: International of the Potash Institute, 1977. (IPI Research Topics, 3).

POPPININGIS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura: AGIPLAN, 1977. 289p.

RAIJ, B.van; CAMARGO O. A.. Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, Campinas, v. 32, p. 223-236, 1973.

RAIJ, B.van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo : Agronômica CERES: Potafos, 1991. 343p.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; ABREU, C.A.de. Interpretação de resultados de análise de solo. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, A.J.; FURLANI, A.M.C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2ed. Campinas: IAC, 1997. p.8 - 13. (Boletim Técnico, 100).

RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V.; V. H. (Ed.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. 359 p. 5ª aproximação.

ROSSETO, C.A.V.; FERNANDEZ, E.M.; NAKAGAWA, J.; ROSOLEM, C.A. Efeito do calcário na produção e qualidade fisiológica das sementes de soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v.16, n.2, p.208-215, 1994.

REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL, 34., 2006, Pelotas. **Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e Santa Catarina 2006/2007**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2006. 240 p.

SÁ, M.E. **Efeitos da adubação fosfatada e da densidade de plantas na produção e qualidade de sementes obtidas em quatro cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 1982.Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

SÁ, M.E. Importância da adubação na qualidade de sementes. In: SÁ, M.E. de; BUZZETI, S. (Coord.). **Importância da adubação na qualidade de produtos agrícolas**. São Paulo: Ícone, 1994. p.65-98.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. NÚCLEO REGIONAL SUL. Comissão de Química e de Fertilidade do Solo-RS/SC. **Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre, 2004. 400p.

SCHRADER, L.E.; BRISKIN, D.P. Mineral nutrition of soybeans. In: CONFERENCIA MUNDIAL DE INVESTIGACION EN SOJA, 4., Buenos Aires, 1989. **Actas...** Buenos Aires, AAS, 1989. p.217-224.

SFREDO, G.J.; CARRÃO-PANIZZI, M.C. **Importância da adubação e da nutrição na qualidade da soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1990. 57p. (EMBRAPA-CNPSo. Documentos, 40).

SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; LANTMANN, A.F.; MEYER, M.C.; MANDARINO, J.M.G.; OLIVEIRA, M.C. N. DE. **Molibdênio e cobalto na cultura da soja**. Londrina: EMBRAPA-CNPSo, 1997. 18p. (CNPSo. Circular Técnica, 16).

SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; OLIVEIRA, M.C.N. de; WOBETO, C. e ALMEIDA, J. Determinação da relação ótima entre Ca, Mg e K para a cultura da soja em solos do Paraná. In: RESULTADOS de pesquisa de soja 1991/92. Londrina, 1999a. 816 p. (Embrapa Soja. Documentos, 138).

SFREDO, G.J.; LANTMANN, A.F.; BORKERT, C.M. Indicação da aplicação de doses de enxofre (S) e de micronutrientes no solo, para a cultura da soja. In: RECOMENDAÇÕES técnicas para a cultura da soja na região central do Brasil 1999/2000. Londrina, 1999b. 226p. (Embrapa Soja. Documentos, 132; Embrapa Agropecuária Oeste, 5).

SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; KLEPKER, D. O cobre (Cu) na cultura da soja: diagnose foliar. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 23. 2001, Londrina. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, p.95, 2001. (Embrapa Soja. Documentos, 157).

Sfredo, G.J.; Klepker, D.; ORTIZ, F.R.; OLIVEIRA NETO, W. Níveis críticos de enxofre no solo para a soja, no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: UNESP, 2003. 1 CD-ROM.

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M.; OLIVEIRA, F. A. de. Efeito da aplicação de calcário e de silicato de Ca e Mg sobre a produção de soja e trigo em latossolo vermelho de Londrina. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 27., 2005, Cornélio Procópio. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2005. p. 500-501 (Embrapa Soja. Documentos, 257). Organizado por Odilon Ferreira Saraiva, Janete Lasso Ortiz, Simone Ery Grosskopf.

SFREDO, G. J.; BORKERT, C. M.; KLEPKER, D.; OLIVEIRA, F. A. de. Estabelecimento de faixas de suficiência de Ca e Mg para a cultura da soja em solos de Cerrados. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 27.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 11.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 9.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 6., 2006, Bonito, MS. **A busca das raízes**: anais. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 82). 1 CD-ROM. (a)

SFREDO, G. J.; KLEPKER, D.; BORKERT, C. M.; OLIVEIRA, F. A. de. Estabelecimento de faixas de suficiência da saturação de Ca e Mg, na CTC, e da saturação por bases para a soja, em solos de Cerrados. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 28., 2006, Uberaba. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja: Fundação Meridional: Fundação Triângulo, 2006b. p. 430-431 (Embrapa Soja. Documentos, 272). Organizado por Odilon Ferreira Saraiva, Regina M.V.B. de C. Leite, Janete Lasso Ortiz. (b)

SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; OLIVEIRA JR, A. de; OLIVEIRA, F.Á. de; CASTRO, C. de. 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, 2006c. p. 432-433 (Embrapa Soja. Documentos, 272). Organizado por Odilon Ferreira Saraiva, Regina M.V.B. de C. Leite, Janete Lasso Ortiz. (c)

SFREDO, G.J.; LAZZAROTTO, J.J. **Uso da informática para adubação e nutrição de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2007. (Embrapa Soja. Documentos, 289). 1 CD – ROM

SFREDO, G.J.; LANTMANN, A.F.; BORKERT, C.M. Indicação da aplicação de doses de micronutrientes no solo, para a cultura da soja. In: TECNOLOGIAS de produção de soja-região central do Brasil-2008. Londrina, 2008. 226p. (Embrapa Soja. Sistemas de Produção, 12).

SFREDO, G.J.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. DE; SIBALDELLI, R.N.R.; MORAIS, J.Z. Níveis críticos de manganês, em três solos de cerrado. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 30., 2008, Rio Verde. **Resumos...** Londrina: Embrapa Soja, 2008. p.299-301 (Embrapa Soja. Documentos, 304). Organizado por Odilon Ferreira Saraiva, Cesar de Castro, Regina Maria Villas Bôas de Campo Leite, Fábio Álvares de Oliveira.

SILVA, J.A. **Plant, mineral nutrition: yearbook of science and technology.** McGraw-Hill Book, 1973.

SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E.; REIN, T.A. **Uso de gesso agrícola nos solos dos Cerrados.** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1995. 20p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 32).

SOUSA, D.M.G.de; LOBATO, E. **Correção do solo e adubação da cultura da soja.** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1996. 30p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 33).

SZUKALSKI, H. Effect of magnesium fertilizing on the quality of seeds for sowing. **Soil and Fertilizers**, Slough, v.32, n.4, p.387, 1969. Resumo.

TOLEDO, F.F.; MARCOS FILHO, I. **Manual de sementes: tecnologia da produção.** São Paulo: Agronômica Ceres. 224p. 1977.

TRIGO, L.F.N.; PESKE, S.T.; GASTAL, F. da C.; VAHL, L.C.; TRIGO, M.F.O. Efeito do conteúdo de fósforo na semente de soja sobre o rendimento da planta resultante. **Revista Brasileira de Sementes**, v.19, n.1, p.111-115. 1997.

VALE, L.S.R.; NAKAGAWA, J. Efeitos de doses de calcário na qualidade de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L). **Revista Brasileira de Sementes**, v.18, n.1, p.129-133, 1996.

VIEIRA, R.D.; SEDIYAMA, T.; CARVALHO, N.M. de; THIEBAUT, J.T.L.; SILVA, R.F. da; SEDIYAMA, C.S. Avaliação do efeito de doses de P e K na qualidade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.9, n.1, p.83-89. 1987a.

VIEIRA, R.D.; CARVALHO, N.M. de; BUZETTI, S. Efeito da adubação com zinco sobre a qualidade fisiológica de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, v.9, n.1, p.107-111. 1987b.

VOLKWEISS, S.J.; LUDWICK, A.E. **O melhoramento do solo pela calagem**. Porto Alegre: UFRGS. 1969. 30p. (Boletim Técnico, 01).

YOSHIDA, S. Chemical aspects of the role of silicon in physiology of the rice plant. **Bulletin National Institute of Agriculture and Science**, Ser. B., v.15, p. 1-58, 1975.

